



TREBALL DE RECERCA

PRINCIPALS ESPÈCIES ANIMALS INVASORES AL DELTA DE L'EBRE

(ESTUDI DE L'EFICÀCIA DE LA SAPONINA *CAMELIA*
OLÍFERA EN L'ERADICACIÓ DEL CARGOL POMA AL
DELTA DE L'EBRE)



Abstract

Currently, in the world where we live, globalization makes the transport of people and animals easier, generating exchanges that would not happen naturally. This fact facilitates the arrival of animals to places that are not their natural habitat, interfering with the ecosystem and becoming invasive species by not having natural predators that regulate their growth. This research project aims to study the main invasive animal species of the Ebro Delta by describing the concept of invasive species - the apple snail, the palm weevil - and considering their consequences. The investigation part consisted of carrying out the cataloging and description of these main invasive species that are affecting the Delta del Ebro area. Thanks to a collaboration with the Department of Agriculture of the Generalitat of Catalonia, an experimental part was carried out consisting of a long-term study based on treating the effectiveness of a treatment with a type of saponin (*Camellia oleífera*) in the eradication and control of apple snail (*Pomacea maculata*) that is affecting the rice fields of the Delta. From the results obtained in the practical part, it can be concluded that one of the substances that the researchers are testing in the Ebro Delta to regulate the population of the apple snail *Camellia oleífera* saponin, can be an excellent choice given its high effectiveness values of approximately 90%.

ÍNDEX

Agraïments.....	5
Pròleg.....	6
Introducció.....	8
1.Espècie invasora.....	12
1.1.Definició d'espècie invasora.....	12
1.2.Causes de l'aparició de les espècies invasores.....	12
1.3.Conseqüències de les espècies invasores.....	13
2.Espècies invasores al Delta de l'Ebre.....	14
2.1.El Delta de l'Ebre.....	14
2.2.Espècies invasores al Delta de l'Ebre.....	16
3.El morrut de les palmeres.....	17
3.1.Els coleòpters.....	17
3.2.El Morrut de les palmeres.....	18
3.2.1.Origen i distribució.....	18
3.2.2.Morfologia.....	18
3.2.3.Biologia i ecologia.....	20
3.2.4.Impactes.....	21
3.2.5.Problemàtica al Delta de l'Ebre.....	21
3.2.6.Possibles solucions.....	23
4.El cranc de riu americà.....	25
4.1.Crustacis.....	25
4.2.El cranc de riu americà.....	25
4.2.1.Origen i distribució.....	26
4.2.2.Morfologia.....	26
4.2.3.Biologia i ecologia.....	28
4.2.4.Impactes.....	30
4.2.5.Problemàtica al Delta de l'Ebre.....	31
4.2.6.Possibles solucions.....	34

5.El cargol poma.....	35
5.1.Mol·luscs.....	35
5.2.El cargol poma.....	36
5.2.1.Origen i distribució.....	36
5.2.2.Morfologia.....	37
5.2.3.Biologia i ecologia.....	42
5.2.4.Impactes.....	44
5.2.5.Problemàtica al Delta de l'Ebre.....	45
5.2.6.Possibles solucions.....	46
5.2.6.1.La cianamida càlcica.....	46
5.2.6.2.Neu 1184M.....	46
5.2.6.3.La gamba gegant de riu.....	47
5.2.6.4.Saponines.....	48
6.El musclo zebra.....	49
6.1.Els mol·luscs.....	49
6.2.El Musclo Zebra.....	49
6.2.1.Origen i distribució.....	49
6.2.2.Morfologia.....	50
6.2.3.Biologia i ecologia.....	51
6.2.4.Impactes.....	53
6.2.5.Problemàtica al Delta de l'Ebre.....	55
6.2.6.Possibles solucions.....	55
6.2.6.1.Ones de ràdio de baixa freqüència.....	56
6.2.6.2.El "BioBullet".....	57
6.2.6.3.Pseudomonas fluorescens	58
6.2.6.4.Serotonina.....	59

7. Estudi de l'eficàcia de la saponina <i>Camelia olífera</i> en l'eradicació i control del Cargol Poma (<i>Pomacea maculata</i>) al Delta de l'Ebre.....	60
7.1. Introducció.....	60
7.2. Materials.....	60
7.3. Metodologia.....	61
7.3.1. Recollida de Caragols.....	61
7.3.2. Tria de caragols.....	62
7.3.3. Mesura de les variables dependents.....	66
7.3.4. Distribució dels caragols escollits.....	68
7.3.5. Preparació del camp per rebre el tractament.....	68
7.3.6. Aplicació del tractament.....	69
7.3.7. Col·locació de les gàbies.....	70
7.3.8. Comptatge de cargols morts.....	71
7.4. Resultats.....	75
7.4.1. Resultats post 48 hores en saponina.....	75
7.4.2. Mortalitat post 24 hores estabulació-reanimació.....	76
7.4.3. Resultats finals.....	77
7.5. Conclusions de la part pràctica.....	78
8. Conclusions generals.....	79
9. Referències.....	80
10. Annexos	84

Agraïments

Vull donar les gràcies a Miquel Àngel López juntament amb el Departament d'Agricultura i Ramaderia d'Amposta per haver-me guiat sobre com encarar el projecte, i donar-me totes les facilitats per poder fer la pràctica, per portar-me amunt i avall del Delta, i respondre les meves contínues preguntes.

Agrair també a Jesús Avilla, per tota l'ajuda i per resoldre tots els dubtes que he m'han sorgit durant el treball.

Finalment agrair a la que ha sigut la meva tutora de treball, la senyoreta Núria Ros, per haver-me guiat durant el procés de desenvolupament del treball.

Pròleg

La realització d'aquest treball de recerca m'ha permès explorar un món apassionant, que és el de les espècies invasores. Considero la temàtica molt encertada, ja que posa sobre la taula el delicat equilibri en el que es troben els ecosistemes naturals en l'actualitat, i de com l'activitat humana influeix sobre els mateixos. El resultat d'aquesta activitat, sigui per motius de l'agricultura o la pesca, sigui pel fet de tenir mascotes, etc., acaba situant espècies fora del seu lloc natural, amb conseqüències molt greus tant per a l'equilibri natural de les zones d'acollida, com per a l'economia, en el cas d'afectar a l'agricultura. M'ha encuriós molt veure com aquests nouvinguts es converteixen de cop en els enemics de tothom, i de sobte es comença a lluitar amb ells per recuperar l'equilibri que teníem abans de la seva aparició.

La metodologia escollida per al present treball de recerca ha estat la d'un treball mixt de descripció-catalogació per a la part teòrica i d'investigació-experimentació per a la part pràctica. Així, en la primera part del treball, la part teòrica, l'objectiu ha estat el de descriure el concepte d'espècie invasora i les seves conseqüències, així com la catalogació i descripció de les principals espècies invasores que estan afectant la zona del Delta de l'Ebre i el seu entorn. En la segona part, s'ha dut a terme un experiment, en col·laboració amb el Departament d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya, que forma part d'una investigació de llarga durada que té per objectiu determinar l'efectivitat de *Camellia oleifera*, en l'eradicació del Caragol Poma al Delta de l'Ebre.

Les tècniques de recerca emprades per a la realització de la part teòrica han estat, d'una banda, la recerca d'informació en diferents fonts (internet, bibliogràfica, bases de dades de recerca, webs especialitzades, etc.), i l'entrevista a dos especialistes en plagues, el que m'ha permès obtenir les dades necessàries per a la redacció de la part teòrica del treball. Per a la part pràctica, he dut a terme un experiment, en el context d'una investigació de llarga durada sobre el Cargol Poma (*Pomacea maculata*), sota la tutela d'un especialista, que m'ha permès participar en el disseny, implementació, recollida de dades i anàlisi dels resultats del mateix.

Davant de la possibilitat de fer experimentació amb el Morrut de les Palmeres o del Caragol Poma, vaig descartar el primer per la major dificultat i manca de mitjans per dur a terme els experiments. A més els investigadors sobre el Morrut es troben a València, fet que encara complicava més la possibilitat de treballar amb aquesta espècie. Al contrari, en el cas del Caragol Poma, el fet que els tècnics que fan la recerca sobre la seva evolució i eradicació estiguin a Tortosa, em va facilitar el poder contactar-hi i a més van accedir ràpidament a que pogués col·laborar en les experimentacions que ells estan duent a terme.

A nivell personal, ha estat una satisfacció poder aprendre més sobre les espècies invasores del delta de l'Ebre, ja que des de fa anys que puc observar algunes de les seves conseqüències. Per exemple, en el cas del Morrut de les Palmeres, he pogut veure com el paisatge que envolta el poble de la meva àvia, Alcanar, canviava completament els darrers anys, ja que estan desapareixent totes les palmeres. Sense anar més lluny, a les finques de la meva àvia moltes ja han mort (algunes de les fotos del treball pertanyen a aquestes palmeres), i en el cas del Caragol Poma, només cal fer una volta pel Delta de l'Ebre per observar les seves conseqüències. Aquesta zona és un entorn rural i natural de gran valor ecològic que cal protegir, que jo m'estimo i que arrel d'aquest treball m'he fet més conscient de la seva fragilitat. Així doncs, ha estat una gran satisfacció poder col·laborar i contribuir mitjançant aquest treball al coneixement d'aquesta problemàtica i a la seva solució.

Introducció

Actualment, en el món en el que vivim, la globalització facilita el transport de persones i animals, tot generant intercanvis que difícilment es produirien de forma natural. És molt fàcil transportar, per exemple, un animal des de qualsevol part del món fins a Europa amb qualsevol mitjà de transport.

Aquest fet facilita l'arribada d'animals a indrets que no són el seu hàbitat natural interferint en l'ecosistema i esdevenint espècies invasores en no tenir depredadors naturals que regulin el seu creixement com espècie.

Moltes de les espècies invasores arriben per mitjà d'intercanvis il·legals a través de mercats negres, en contenidors, maletes, etc., sovint per a ser venudes com a mascotes atès el seu component exòtic. Cal prendre consciència doncs que aquests animals que tenim com a mascota a casa i que moltes vegades deixem anar al medi natural que ens envolta, poden arribar a convertir-se en espècies invasores.

Per exemple la tortuga de Florida (Figura 1), és una espècie utilitzada com a animal de companyia i que moltes vegades la gent aboca a rius i pantans i es converteixen en animals invasors ja que es reproduïxen molt fàcilment.



Figura 1. Tortuga de florida. Font: tortugues.cat

Així doncs, una espècie invasora és aquella que ha estat introduïda en un ecosistema diferent al del seu origen intencionadament o no i, que es converteix en una plaga per a l'ecosistema al que arriba degut que ha pogut tenir descendència fèrtil i a la seva capacitat de colonització d'ecosistemes diferents al seu lloc d'origen.

La nova espècie es converteix en una plaga perquè no hi ha mecanismes naturals de control que mantinguin a ratlla la seva població. Entre d'altres factors que afavoreixen la seva adaptació al nou medi en destaquen els següents:

- Les condicions del ecosistema al qual arriba son iguals o mes favorables que al seu ecosistema d'origen.
- L'absència de depredadors que regulin la seva població.
- L'absència de fets meteorològics que regulin també la seva població.

Les espècies invasores tenen conseqüències mediambientals però també conseqüències econòmiques. Mediambientals en quant que suposen una pèrdua de biodiversitat ja que afecten a les espècies autòctones de l'ecosistema en el que s'allotgen i poden provocar la seva extinció. Les principals afectacions són la propagació de noves malalties, la depredació sobre poblacions i l'ocupació dels hàbitats de les espècies autòctones del territori.

A més a més, les espècies invasores tenen conseqüències econòmiques quan aquestes afecten a espècies de les quals els éssers humans d'aquell territori n'hi treuen un profit (conreus i ramaderia), als quals es suma el cost d'eliminació d'aquesta espècie invasora. En la Figura 2 es mostren les activitats de neteja degut a la invasió de plantes de Jacints d'aigua al riu Guadiana, a Extremadura.



Figura 2. Activitats de neteja de la planta jacint d'aigua (*Eichhornia crassipes*). Font: luontoportti.com

En aquest context, les administracions estan fent grans esforços per a mantenir a ratlla l'establiment d'aquestes espècies en els ecosistemes locals, amb

l'objectiu d'evitar aquests problemes mediambientals i econòmics (Departament de Territori i Sostenibilitat. Secció de Medi ambient).

Com que un cop introduïdes, l'establiment de les espècies invasores en un nou ecosistema segueix tres fases clarament diferenciades (Figura 3), la naturalització, l'expansió i la saturació, les estratègies de gestió dels seus efectes segueixen també tres fases, la prevenció, l'eradicació i el control en funció de la fase en la que es trobi l'espècie invasora (Figura 3).

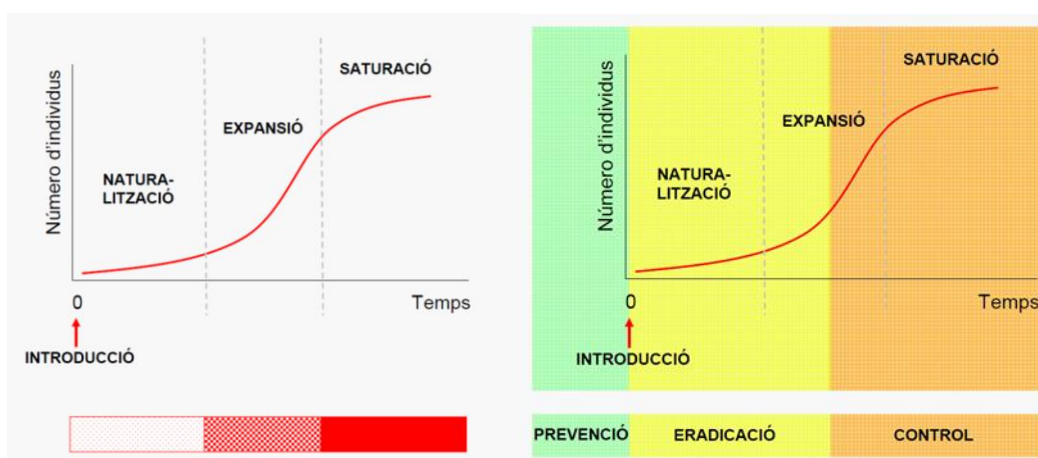


Figura 3. Fases d'establiment i de gestió d'una espècie exòtica invasora. Font: Roura-Pascual 2011

En quant a la prevenció les mesures s'encaminen a evitar l'entrada de l'espècie al nou ecosistema, i a l'establiment de sistemes de quarantena per evitar que s'expandeixin. Pel que fa a l'eradicació i control, s'estableixen bàsicament mecanismes de detecció precoç i resposta ràpida, quan l'espècie encara es troba en una àrea molt localitzada, i finalment els tractaments que poden ser mecànics, químics o biològics, mitjançant enemics naturals.

A Catalunya són diverses les espècies exòtiques invasores que estan amenaçant els ecosistemes i l'economia. D'aquestes una bona part es poden trobar en la zona del Delta de l'Ebre la qual per les seves característiques naturals i agrícoles la fa especialment vulnerable.

Aquest treball de recerca té com a objectiu general l'estudi de les principals espècies animals invasores del Delta de l'Ebre i àrea d'influència. Per assolir aquest objectiu general s'han plantejat com a objectius parcials la descripció

del concepte d'espècie invasora i les seves conseqüències, així com la catalogació i descripció de les principals espècies invasores que estan afectant la zona del Delta de l'Ebre i el seu entorn (part teòrica). D'altra banda, mitjançant una col·laboració amb el Departament d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya, s'ha dut a terme una part experimental que forma part d'un estudi a llarg termini amb l'objectiu de estudiar l'eficàcia del tractament amb un tipus de saponina (*Camellia oleífera*) en l'eradicació i control del Cargol Poma (*Pomacea maculata*) que està afectant els camps d'arròs del Delta (part pràctica).

La memòria del treball s'estructura doncs en una part teòrica, en la que es defineixen els conceptes d'espècie exòtica invasora de forma general, per passar després a la descripció de l'àrea del Delta de l'Ebre i a la catalogació de les principals espècies animals invasores que l'afecten actualment, i una part pràctica, en la que s'explica la problemàtica específica del Cargol Poma, es descriuen les mesures que s'estan duent actualment per a la seva eradicació i control, i es presenten i comenten els resultats de l'experimentació duta a terme durant l'estiu del 2017 per a l'avaluació del producte *Camellia oleífera* per aquest propòsit.

1. Espècie invasora

1.1. Definició d'espècie invasora

Una espècie invasora és aquella que ha sigut introduïda en un ecosistema diferent al del seu origen intencionadament o no i que es converteix en una plaga per a l'ecosistema al que arriba ja sigui perquè ha pogut tenir descendència fèrtil o bé per la seva capacitat de colonització de llocs diferents al seu lloc d'origen on ha sigut introduïda.

Necessàriament ha de ser una plaga perquè si no ho fos o bé l'espècie no sobreviuria al nou ecosistema o contaria amb depredadors que mantindrien a ratlla la seva població evitant d'aquesta manera l'espècie invasora.

- La nova espècie es converteix en una plaga perquè no hi ha mecanismes naturals de control degut a diversos factors:
- Les condicions del ecosistema al qual arriba són iguals o més favorables que al seu ecosistema d'origen.
- L'absència de depredadors que regulin la seva població.
- L'absència de fets meteorològics que regulin també la seva població.

1.2. Causes de l'aparició de les espècies invasores

Actualment en el món en el que vivim la globalització, i la facilitat que hi ha per transportar persones, animals i objectes genera situacions que difícilment es produirien naturalment. És molt fàcil transportar per exemple un animal des de qualsevol part del món fins a Europa amb qualsevol mitjà de transport.

Moltes de les espècies invasores arriben per mitjà de transportacions il·legals com maletes, mercats negres, en contenidors, etc. Però també són invasores moltes de les espècies que tenim com a mascota a casa i que moltes vegades deixem anar al medi natural que ens envolta i que es poden arribar a convertir en espècies invasores. Com per exemple la tortuga de Florida que és una espècie que és més coneguda com a animal de companyia i que moltes vegades la gent les aboca a rius i pantans i es converteixen en animals invasors ja que es reproduïxen molt fàcilment.

1.3. Conseqüències de les espècies invasores

Tenen conseqüències mediambientals però també conseqüències econòmiques. Mediambientals ja que suposa una pèrdua de biodiversitat ja que afecten a les espècies autòctones de l'ecosistema en el que s'allotgen i poden provocar la seva extinció. També poden provocar la propagació de noves malalties, la depredació sobre poblacions o l'ocupació dels hàbitats de les espècies autòctones del territori.

Les espècies invasores tenen conseqüències econòmiques quan aquestes afecten a espècies de les quals els éssers humans d'aquell territori n'hi treuen un profit (conreus i ramaderia) als quals es suma el cost d'eliminació d'aquesta espècie invasora.

En l'Annex 2 es pot trobar una entrevista al Dr. Jesús Avilla, Catedràtic del Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal de la Universitat de Lleida, en la qual es parla sobre les causes, conseqüències i possibles solucions sobre les espècies invasores en els conreus de Lleida.

2. Espècies invasores al Delta de l'Ebre

2.1. El Delta de l'Ebre

El Delta de l'Ebre és un territori format pels sediments fluvials que el riu Ebre ha anat dipositant en arribar al mar durant els darrers 6000 anys (Figura 4).



Figura 4. Mapa Delta de l'Ebre. Font: maperry.com

Des d'antic que s'havia utilitzat aquest terreny pel cultiu de petites hortes, la caça i la pesca, però no va ser fins al 1860, amb la construcció del Canal de la Dreta de l'Ebre, i la construcció del Canal de l'Esquerra al 1912 que es va introduir el cultiu de l'arròs i l'activitat agrícola va esdevenir molt intensiva.

Actualment els camps dedicats al conreu d'arròs ocupen unes 21.000 hectàrees de les 32.000 que té el delta, (un 65% de la superfície total) i l'aigua és distribuïda per dues comunitats de regants: la comunitat de regants de l'esquerra, que controlen el Canal de l'Esquerra, i la comunitat de regants de la dreta, que lògicament controlen el Canal de la Dreta. A part dels camps d'arròs també hi ha diversos nuclis urbans que ocupen un 10% del delta, i el Parc natural del Delta de l'Ebre, amb una extensió de 7.736 ha, que forma part de la Reserva de la Biosfera de les Terres de l'Ebre.

Els dos canals principals (de la Dreta i de l'Esquerra) tenen el seu origen a l'Assut de Xerta, una presa construïda en diagonal de banda a banda del riu, al llarg d'uns 375m i que està situada a 40 km riu amunt del delta. El canal dret té 52 km de longitud, amb un canal de navegació de 10 km, i un cabal en origen de 31 m³/s, i el canal esquerra té una longitud de 35 km i un cabal en origen de 17 m³/s.

A partir d'aquests canals en surten de secundaris que alhora es divideixen en sèquies primàries, secundàries i terciàries que acaben formant una densa xarxa d'irrigació.

A part d'això també hi ha una canalització dels desguassos que acaben en estacions de bombeig, que permeten un correcte drenatge del delta, i la posterior evacuació de les aigües al mar.

A part del valor econòmic que tenen els arrossars, el Delta de l'Ebre també té un gran valor ecològic. En estar envoltat per mar, té una humitat elevada durant tot l'any i les temperatures varien poc en les diferents estacions. Una altra característica és que té una gran diversitat d'hàbitats en un espai físic relativament reduït, com ara les zones salobres, els boscos de ribera, les terres fèrtils dedicades al cultiu, els estanys, o les dunes i platges.

Això permet que hi hagi una gran varietat d'espècies, la majoria poc corrents en el nostre territori, com la diversificada vegetació halòfila, i l'extensa quantitat de fauna, especialment les aus, que entre les que hi viuen permanentment i les migratòries sumen unes 360 espècies.

També hi ha nombroses espècies autòctones, les més conegudes les nàiades, mol·luscs bivalves en perill greu d'extinció, o la tortuga mediterrània *emys* (*Emys orbicularis*), també greument amenaçada.

El motiu que les espècies autòctones estiguin en un estat tan greu de conservació és degut a la recent introducció d'espècies forasteres (fins a 15 diferents), que modifiquen l'ecosistema i deixen sense aliment o ocupen l'hàbitat natural de les autòctones. En aquests casos diem que són espècies invasores, la majoria de les quals originen grans daltabaixos en l'ecosistema i

s'han de destinar esforços considerables de l'administració i diferents organitzacions per intentar controlar la situació.

2.2. Espècies invasores al Delta de l'Ebre

La diferència entre les espècies introduïdes i les invasores rau en el fet que les primeres són totes aquelles estrangeres que algú ha extret del seu hàbitat i les ha transportat de manera involuntària a un territori que, en realitat, no és el seu. Les invasores, en canvi, són aquelles que s'expandeixen ràpidament i que acaben canviant l'hàbitat de les espècies que viuen al voltant. Poden provenir de l'estranger o ser espècies autòctones.

Actualment al Delta, podem trobar moltes espècies invasores de les quals, gairebé totes venen de fora. Algunes tenen unes conseqüències més greus sobre el medi ambient i les persones que d'altres.

Les més destacades, serien:

- El morrut de les palmeres o picot vermell
- El cranc de riu americà
- El caragol poma (Figura 5)
- El musclo zebra



Figura 5. Caragol Poma (Font pròpia)

3. El morrut de les palmeres

3.1. Els coleòpters

Aquest ordre d'insectes conté aproximadament unes 350.000 espècies descrites, per la qual cosa es pot dir que és l'ordre que conté més espècies que qualsevol altre ordre en el regne animal; seguit pels dípters (240.000 espècies), els lepidòpters (160.000 espècies) i els himenòpters (120.000 espècies). Té tantes espècies com les plantes vasculars o els fongs, i 90 vegades més espècies que els mamífers.

Els coleòpters presenten gran diversitat morfològica. Els escarabats ocupen qualsevol hàbitat, inclosos els d'aigua dolça, encara que la seva presència en ambients marins és mínima. La majoria dels coleòpters són fitòfags, és a dir que s'alimenten de matèries vegetals vives, i moltes espècies poden constituir plagues dels cultius, sent les larves les que causen la major part dels danys agrícoles i forestals.



Figura 6. Coleòpters. Font: flickr.com

3.2. El Morrut de les palmeres

El morrut de les palmeres, becut vermell o morrut roig (*Rhynchophorus ferrugineus*) és una espècie d'escarabat curculiònid. Actualment és una greu plaga per a les palmeres ornamentals a la península Ibèrica.

3.2.1. Origen i distribució

El Morrut de les palmeres (*Rhynchophorus ferrugineus*) és originari del sud-est d'Àsia i la Polinèsia, i actualment ja s'ha estès per l'Àfrica i Europa. A la península Ibèrica es va trobar per primera vegada el 1994 per la zona del Sud i es va anar estenent per tot el corredor mediterrani fins arribar a França l'any 2006. Més tard també va arribar a Amèrica, i el primer cop que es va poder observar allí va ser el 2009.



Figura 7. Mapa origen del morrut de la palmera. Font: applesnail.net.

3.2.2. Morfologia

L'adult mesura de 2 a 5 cm, és de color vermellós i està dotat d'un pic allargat característic. Al tòrax té unes taques arrodonides fosques molt visibles. Els èlitres que protegeixen les ales, són del mateix color i presenten línies estriades de color negre. Els adults poden desplaçar-se volant o trepant des del sòl fins a les copes de les palmeres. Es distingeixen de les erugues de *Paysandisia*

archon, lepidòpter que també afecta les palmeres, de forma més allargada i dotades de falses potes.

La femella adulta pon els ous en un nou creixement en la corona de la palma o les ferides causades per l'esclarissada de les fulles.

L'ou, d'un color blanquinós i ovalat desclou sorgint-ne larves piriformes blanques sense potes. La larva s'alimenta del teixit interior de l'arbre durant un mes formant túnels al tronc de la palmera. En fer l'orifici, la larva emergeix de l'arbre i forma un capoll a la fullaraca a la base de les fulles. L'adult presenta una coloració vermell ferrós amb taques característiques al tòrax i un rostre allargat en forma de bec molt peculiar, típic dels curculiònids. El cicle de vida total dura de 7 a 10 setmanes.



Figura 8. Morrut de les palmeres (Font pròpia)

La pupa, també groguenca està protegida d'un capoll cilíndric de 4 a 6 cm, el qual construeix la larva amb la fibra que amassa de la pròpia palmera. Es pot localitzar a la base de les palmes.

Els ous són de forma ovalada, d'un color blanquinós i brillants; les femelles posen de 300 a 400 ous, al teixit tendre de la corona i a les ferides del tronc.

El cicle complet, d'ou a adult, té una durada entre 3 i 4 mesos. Els adults no solen abandonar la palmera fins que està totalment destruïda. Poden tenir diverses generacions dintre del mateix exemplar on poden conviure de forma gregària tots els estadis de l'insecte.

Les larves es desenvolupen dins de la palmera i poden superar els 5 cm en l'últim estadi. Són àpodes, piriformes, de color groguenc i amb una càpsula encefàlica de color marró fosc brillant, dotada d'unes fortes mandíbules.

Els adults quan surten del tronc, realitzen vols per a colonitzar altres palmeres, preferentment les que tenen ferides.



Figura 9. Larva Morrut (Font pròpia)



Figura 10. Pupa (Font pròpia)

3.2.3. Biologia i ecologia

Quan és adult, el morrut roig deposita els ous a la copa de les palmeres o en talls del tronc. Quan les larves fan eclosió, aquestes es desenvolupen menjant-se la palmera des de dins, com fan la corca o les termites en altres tipus de fusta. Al cap d'entre 2 i 4 mesos, les larves es transformen en pupes per a convertir-se en escarabats adults, completant la metamorfosis. Finalment, els adults es reproduïxen i el cicle torna a començar.



Figura 11. Cicle vital del Morrut de les Palmeres. Font: accioecologista-agro.org.

Al País Valencià, els tècnics de la Conselleria d'Agricultura han comprovat que a la mateixa palmera aquest cicle es pot repetir diverses voltes sense que els exemplars adults surten d'aquesta.

3.2.4. Impactes

L'insecte colonitza moltes espècies de palmeres. En la seva zona d'origen afecta al cocoter (*Cocus nucífera*) i a la palma africana de l'oli (*Elaeis guineensis*). A la zona mediterrània afecta principalment a la palmera canaria (*Phoenix canariensis*) i especialment a la palmera datilera o comú (*Phoenix dactylifera*), la més estesa al nostre territori. Les menys afectades són les palmeres del gènere *Washingtonia*. A l'Annex 1 es pot veure una petita descripció de les palmeres *Phoenix canariensis* i *Phoenix dactylifera*.

En la figura 12 es pot observar la gran afectació que té aquesta plaga en diferents finques del Delta de l'Ebre, en les quals la gran majoria de palmeres acaben morint conseqüència de l'atac del morrut.

3.2.5. Problemàtica al Delta de l'Ebre

Actualment, el morrut de les palmeres ha arribat a la major part de les costes del mediterrani, causant un greu impacte a la població de palmeres allí on s'instal·la.

Al Delta de l'Ebre, hi va arribar ja fa uns anys, però actualment és un problema bastant greu ja que està acabant amb tota la varietat de palmeres que hi ha en aquest territori i que fins ara abundaven molt.

Com els tractaments contra el morrut són excessivament cars i no asseguren la seva efectivitat, la gent no tracta les palmeres, i aquestes acaben morint al cap de poc temps de que l'insecte hagi infectat la palmera.



Figura 12: *Phoenix canariensis* afectades pel morrut de les palmeres en finques del Delta de l'Ebre (Font pròpia)

3.2.6. Possibles solucions

A causa que els tractaments insecticides són poc eficaços, per aconseguir un control eficaç, és bàsica la ràpida detecció dels focus per tal de procedir a l'arrencament i destrucció de les palmeres afectades i evitar la dispersió de la plaga. També és aconsellable protegir les ferides amb màstic o tractar-les amb un insecticida.

Els tractaments insecticides que s'han ficat en pràctica actualment per combatre el morrut són poc eficaços ja que no eliminen el 100 per cent de la plaga de la palmera, i una vegada aplicades, la palmera pot tornar a recaure.

Per aquest motiu el mètode més eficaç i econòmic per eliminar la plaga a nivell global consisteix en incinerar la palmera en el moment que es detecta la plaga de manera que es pugui assegurar que cap dels invasors que es trobava dins la palmera incloent 'hi els ous, hagi sobreviscut.

Tot i que s'han col·locat trapes per part del Servei de Sanitat Vegetal per detectar la presència de plagues de morrut a Catalunya, és molt important comunicar al Servei de Sanitat Vegetal qualsevol sospita de palmeres afectades. A causa de la perillositat d'aquesta plaga, el MAPA (Ministeri d'Agricultura, Pesca i Alimentació) ha publicat diferents Ordres en les quals s'obliga a què les palmeres que hagin de circular per l'estat Espanyol hagin d'anar emparades pel passaport fitosanitari CE que garanteix que les palmeres estan lliures d'aquesta i altres plagues. Es pot veure un exemple de passaport fitosanitari CE en l'Annex 1.

Com a mesures preventives, cal evitar ferides i grans podes a les palmeres, especialment a l'estiu que es quan aquests insectes són més actius i es troben en època de reproducció. També és aconsellables protegir les ferides amb màstic o tractar-les amb un insecticida.

El "màstic" és una massilla amb funció de protecció, curació i cicatrització de les ferides sofertes per les plantes a causa d'empelts, podes i trencaments accidentals.

Fins al moment no s'han trobat tractaments curatius suficientment efectius. De manera que tots els tractaments recomanats tenen caràcter preventiu.

Substàncies actives autoritzades contra barrinadors de palmera

- Imidacloprid 20% (en polvorització, en reg i en injecció per empreses especialitzades) Parcs i jardins.
- Fosmet
- Tiametoxam 25% (autoritzat en jardineria i en injecció per empreses autoritzades).
- Abamectina 1,8 % (Injecció només per empreses especialitzades).
- Steinernema: (organisme de control biològic, s'aplica tot sol o mesclat amb quitosà).
- Azadiractín 2,3 %.
- Clorpirifòs 27,8%
- Clorpirifòs 48% (autoritzat en parcs i jardins).
- Dimetoat 40% (autoritzat en parcs i jardins).



Figura 13. Aplicació de diferents productes en contra del morrut a les palmeres.



Figura 14. Producte Mastc Sospalm. Extret de la pàgina sospalm.com

4. El cranc de riu americà

4.1. Crustacis

Els crustacis són artròpodes majoritàriament aquàtics, encara que existeixen espècies terrestres, de formes variadíssimes, hi ha unes 26.000 espècies vivents, entre les quals s'inclouen algunes molt conegudes, com ara crancs, llagostins, llagostes de mar, crancs de riu, etc.

Habiten en platges, oceans, llacs i rius, i tenen gran importància en el desenvolupament dels ecosistemes.

Els crustacis realitzen una funció primordial en l'equilibri biològic del medi aquàtic, representant la major massa d'aquest. Formen part del plàncton marí. Alguns són els encarregats de transformar la matèria vegetal en animal, alimentant-se de fitoplàncton, que converteixen en la seva pròpia matèria, la qual servirà d'aliment als animals carnívors. Uns altres que viuen en el fons, netegen les aigües de cadàvers i detritus que s'acumularien en el mateix. Ocupen, per tant, una posició bàsica en les cadenes alimentàries aquàtiques.

Se'ls troba en totes les aigües, en totes les latituds, des dels abismes a la vora de la platja, per on molts es desplacen a la marea baixa, i altres es mouen terra endins.

Tot i que els crancs, llagostes de mar, llagostins, etc., són els més coneguts, no són els únics crustacis fonamentals en l'equilibri biològic, sinó que hi ha milers de milions de crustacis microscòpics que pul·lulen a l'oceà i serveixen d'aliment a molts altres tipus d'animals de diferents espècies.

La seva morfologia és tan extraordinàriament variada per la diversitat de les seves adaptacions a diferents modalitats de vida, que alguns, modificats pel parasitisme o per la vida fixa, només van ser reconeguts com crustacis mitjançant l'estudi de les seves formes larvàries.

4.2. El cranc de riu americà

El cranc de riu americà (*Procambarus clarkii*) és un cranc d'introducció recent que s'ha estès de manera molt ràpida pels Països Catalans. Pràcticament, la

totalitat dels exemplars que es poden trobar als mercats pertanyents a aquesta espècie.

Com el seu nom comú implica, els crancs de riu es troben principalment en rius, pantans, llots i sèquia. Aquesta espècie evita corrents i zones amb fort corrent. Durant períodes de sequera o de fred, el cranc de riu vermell s'amaga per supervivència.



Figura 15. Cranc de riu americà. Font pròpia.

4.2.1. Origen i distribució

Aquesta espècie invasora és originària del nord-est de Mèxic i centre-sud dels Estats Units, tot i que actualment es troba estesa per Europa, Amèrica Central, Amèrica del Sud, Àfrica o Hawaii. Va ser introduïda, amb fins comercials, als aiguamolls del Guadalquivir, l'any 1974 i des de llavors no ha deixat d'estendre's per tota la geografia del nostre territori. És una espècie molt tolerant amb la qualitat, salubritat i fluctuació estacional de l'aigua. Es troba, pràcticament, a tots els medis aquàtics: aiguamolls, pantans, embassaments, rius, etc. Prefereix els substrats tous, rics en vegetació i matèria orgànica, on excava llargs túnels per refugiar-se.

4.2.2. Morfologia

Els adults d'aquesta espècie tenen una longitud de 2,2 a 4,7 polzades. Els crancs es caracteritzen per un cap i tòrax units i un cos segmentat. En el cas de l'espècie *Procambarus clarkii*, el cos és de color vermell molt fosc, amb una

franja negra en forma de falca a l'abdomen. Els crancs tenen ulls afilats i ulls mòbils sobre els caps. Com tots els artròpodes, tenen un exosquelet prim però dur que van vessar durant el desenvolupament. Els crancs de riu tenen cinc parells de cames, la primera de les quals són pinzells grans que s'utilitzen per alimentar-se. Al cranc vermell, els pines tendeixen a ser estrets i llargs. Tenen llargues antenes amb òrgans sensorials sobre ells. Això, juntament amb els apèndixs utilitzats per a l'alimentació, són característics del *Subphylum mandibulata*. També hi ha cinc parells d'apèndixs més petits a l'abdomen. La carcassa d'aquesta espècie, situada al costat dorsal, no està separada per un espai. El parell més posterior d'apèndixs s'anomena Òpodes. Els Òpodes són amplis plans i amplis que envolten el Telson, que és l'últim segment abdominal.

Té el cos dividit en 20 segments articulats: 14 al cefalotòrax i 6 a l'abdomen, que li permeten cargolar la cua per transportar els ous en el cas de la femella.

El cranc roig americà pot arribar a fer fins a 15 cm, tot i que la longitud mitjana d'un adult sol ser d'uns 10 cm. La seva coloració és molt variable, des del vermell intens fins el verd, negre o marró, presentant els individus més joves una coloració més clara. Els mascles tenen les pines més llargues i el primer parell de pleópodes (apèndixs nedadors de l'abdomen) més desenvolupats, formant l'òrgan reproductor.

Es diferencia del cranc autòcton (*Austropotamobius pallipes*), per ser més gran, tenir unes pines més llargues i amb protuberàncies i perquè el seu esquelet és més dur i de consistència vítria.

A cefalotòrax hi ha els ulls amb capacitat de girar 180 graus, una antènula que sembla una antena, però és més curta, dues antenes per captar les preses, dues mandíbules que utilitza per ingerir els aliments, dues pines que utilitza per agafar els aliments i defensar-se, maxil·lípedes que col·laboren en el tractament de l'aliment (3 parells) i potes marxadores que utilitza per caminar (4 parells). El cap està format per dues plaques cilíndriques. A l'abdomen hi ha 5 parells de potetes que el cranc fa servir, en general, per moure l'aigua (crea corrents que renoven l'aigua per portar oxigen a les brànquies i per detectar olors a l'ambient). El mascle utilitza els dos primers parells de potes abdominals com a òrgan copulador. Al final de l'abdomen hi ha la cua, una estructura en

forma de ventall formada per dues potes modificades en forma de pala i una escata ampla terminal, anomenada tèlson, on acaba el tub digestiu. El pes mitjà en edat adulta pot arribar a ser de 40 grams i arribar a fer més de 15 cm de llargària. És de color vermellós fosc encara que el seu color és molt variable depenent de l'edat i el sexe. Els mascles arriben a ser negres i vermells durant la temporada reproductora.

Les diferències entre el mascle i la femella són clares, ja que el mascle presenta les potes copuladores modificades (més grosses i mirant cap endavant) mentre que la femella té l'abdomen més ample (per poder transportar el màxim de cries). També es poden identificar pel color, ja que les femelles tenen una coloració molt més discreta i semblant a l'autòcton que els mascles. La maduresa sexual de les femelles apareix en el quart any de vida mentre que en els mascles apareix en el tercer any de vida. (Figura 16)



Figura 16. A l'esquerra: Cranc femella. Font: wikipedia.org. A la dreta: Cranc mascle. Font: ichn.iec.cat

4.2.3. Biologia i ecologia

Pel que fa a l'alimentació, el cranc roig americà és una espècie omnívora, tant s'alimenten d'animals com de vegetals. La seva alimentació es basa principalment en petites larves, en ous de peixos, pinso dels pescadors (format per vegetals), restes de peixos morts, cries d'altres crancs i també alguns peixos com els barbs.



Figura 17. Cranc de riu menjant. Font: catalunyadiari.cat

Es troben actius des del crepuscle fins a l'alba, i, per tant, és una espècie fonamentalment nocturna. Durant els mesos freds romanen enterrats en els seus refugis o en galeries excavades. És una espècie poc sociable, i pot lluitar pel seu territori que defensa amb gran agressivitat. Durant els dies ennuvolats o de pluja són capaços de sortir de l'aigua i recórrer grans distàncies a la recerca de nous territoris.

En quant a la reproducció, el període reproductiu s'inicia a partir del mes d'abril i pot constar, si les condicions són benignes, de fins a tres posades. Per poder dur a terme la còpula, els mascles han de ser de mida igual o superior al de les femelles, ja que necessiten subjectar-les i posar-les en posició ventral. Els mascles dipositen el seu esperma dins d'un receptacle seminal que posseeix la femella, on pot romandre actiu durant mesos fins que sigui necessària la inseminació dels embrions. Els ous, entre 100 i 700 depenent de la mida de l'exemplar, romandran adherits a l'abdomen de la femella que els incubarà i oxigenarà fins a la seva eclosió uns 20 a 30 dies després. Les cries, quan neixen, són petites rèpliques dels adults, desproveïdes d'aparell reproductor. Encara que poden arribar a viure fins a tres anys, la taxa de mortalitat d'aquesta espècie és molt elevada.



Figura 18. Cranc de riu ovat. Font: creatibio.com

4.2.4. Impactes

El cranc roig americà va ser introduït amb finalitats comercials per substituir el cranc de riu autòcton, que havia sofert un fort retrocés per culpa de la pesca incontrolada. És una espècie molt prolífica i agressiva, per la qual cosa s'ha convertit en una plaga de difícil solució, desplaçant espècies autòctones d'aus, amfibis i crancs, com el cranc de riu europeu o cranc de potes blanques (*Austropotamobius pallipes*), al qual, a més, pot encomanar un nou tipus de fong, l'afanomicosi o pesta del cranc (*Aphanomices astaci*), que té efectes letals al seu organisme. Quan la seva densitat és molt elevada poden arribar a destruir la vegetació subaquàtica, amenaçant la subsistència de diferents espècies d'aus bussejadores.

I si tot això no fos suficient, a més dels perjudicis que provoca a d'altres espècies, el cranc roig americà destaca per ser un excavador actiu, capaç de practicar galeries de fins a 1,5 m de longitud, que ocasionen greus problemes, tant en els hàbitats naturals en els quals es desenvolupa, com a les infraestructures humanes i agrícoles: arrossars, canals, sèquies, camins, ponts, drenatges, etc. Per tot això, el cranc roig americà està considerat com a una espècie invasora perillosa i tots els esforços s'encaminen cap al seu control i eradicació.

Va arribar a la península Ibèrica l'any 1974 de forma voluntària. Sense cap mena de control es va estendre per la majoria de zones humides de tot Espanya.

Es va introduir per substituir les poblacions europees eliminades per l'afanomicosi i l'alteració dels ecosistemes fluvials (creixement industrial, construcció de preses i envasaments, canalitzacions, etc.), per la forta demanda de crancs que hi havia a Europa, on es consideren un menjar de luxe.

L'impacte ecològic causat pel cranc americà, ja que els seus costums poden modificar totalment l'hàbitat, tot alterant la disponibilitat de recursos per a altres espècies, eliminant les plantes de les maresmes (alimentació) i fins i tot transformant físicament l'entorn ja que s'enterra durant l'època reproductora (construeix galeries que modifiquen la circulació de l'aigua), fets que fan que sigui una espècie molt agressiva que fins i tot està fent desaparèixer els amfibis d'algunes zones.



Figura 19. Crancs de riu a la venda. Font: animaldiversity.org

4.2.5. Problemàtica al Delta de l'Ebre

Al Delta de l'Ebre aquest cranc abunda en gran nombre. El major problema que representa és per a l'estabilitat dels cultius, ja que el cranc erosiona el terreny en gran mesura. Excava un refugi que consisteix en una galeria llarga, de fins a 1'5 metres, que afecta l'estabilitat dels murs de sèquies i als que separen uns camps d'altres. D'altra banda, el cranc americà ha representat un important benefici per l'activitat econòmica que ha generat.



Figura 20. Cranc trobat en un camp d'arròs al delta. Font pròpia.

Des de l'arribada del cranc de riu americà a les Terres de l'Ebre, ha tingut un seguit de conseqüències econòmiques i biològiques molt greus.

Pel que fa a les conseqüències biològiques, el problema més greu que es va produir amb l'arribada d'aquest crustaci va ser la seva ràpida adaptació i la seva ràpida capacitat reproductora, i per tant la seva gran capacitat invasora. Això va provocar que la espècie autòctona de cranc de riu que podíem trobar al delta, poc a poc anés perdent terreny davant la invasió que el cranc americà.

Poc a poc el cranc de riu autòcton ha anat perdent territori, fins al punt de que actualment es pot considerar una espècie en perill d'extinció.



Figura 21. Cranc de riu autòcton. Font: lasalle.cat



Figura 22.Cranc de riu americà. Font: aquaportail.com

Pel que fa a les conseqüències econòmiques, l'arribada d'aquesta espècie també ha tingut una repercussió molt important tant als pagesos com a la Generalitat de Catalunya.

Per part dels pagesos, aquest animal es dedica a fer els seus caus i túnels per comunicar-se d'un camp d'arròs a un altre, fent malbé així els murs que els pagesos construeixen per separar els seus camps dels altres, i provocant així que el propietaris dels camps hagin d'invertir diners en reconstruir aquests murs.



Figura 23.Galeries fetes pel cranc de riu americà. Font pròpia.

Per part de la Generalitat, s'han hagut d'invertir diners en investigació, per trobar mètodes d'eradicació o disminució d'aquesta població.



Figura 24. Agents rurals controlant el nombre de crancs de rius autòctons.Font: lifepotamofauna.org

4.2.6. Possibles solucions

Per aconseguir eliminar completament el cranc vermell americà, el millor és combinar captures manuals nocturnes, trampes i pesca elèctrica.

La pesca elèctrica és una tècnica comuna que utilitzen els biòlegs de la pesca per a la mostra de poblacions de peixos en cossos d'aigua dolça. Com el seu nom indica, la pesca elèctrica utilitza electricitat per atrapar peixos. Els responsables de la pesca utilitzen aquest mètode per obtenir informació sobre poblacions de peixos com ara la composició d'espècies, la distribució d'edat i la presència d'espècies invasores. Els biòlegs utilitzen petits xocs de motxilla elèctrica o embarcacions d' electropesca.



Figura 25. Pesca amb motxilla elèctrica. Font: seagrantsunysb.edu

5. El cargol poma

5.1. Mol·luscs

Els Mol·luscs formen un dels grups d'animals més nombrosos i variat, i inclouen animals tant diversos com els cargols, els pops o les cloïsses, per esmentar-ne alguns exemples. Són animals invertebrats i segons la classificació taxonòmica tenen simetria bilateral, són celomats i triblàstics.

Constitueixen el grup amb major nombre d'animals marins, suposen el 23% del total dels animals de mar. No obstant això, també habiten en altres llocs com ara l'aigua dolça o la terra. Són molt diversos tant en anatomia com en estructura i comportament.

Es calcula que aproximadament un quart de les espècies totals de mol·luscs que han habitat alguna vegada la Terra estan extintes. De fet, es coneix que els mol·luscs porten a la terra més de 500 milions d'anys. S'han trobat multitud de fòssils de mol·luscs i han resultat molt útils per a la datació de roques i la delimitació de biozones. Alguns d'aquests fòssils són nàutils, un subgrup de mol·luscs que encara avui sobreviu.



Figura 26. Diferents tipus de mol·luscs. Font: evaprofebio.jimdo.com

La reproducció dels mol·luscs és només sexual, encara que els sistemes per això poden variar entre espècies. Per exemple els bivalves són unisexuals mentre que els gasteròpodes són hermafrodites, incloent alguns que poden auto fecundar-se. En la majoria dels casos els que són unisexuals tenen una fecundació externa mentre que els hermafrodites tenen fecundació interna. El desenvolupament embrionari és indirecte ja que els mol·luscs han de passar per una fase larvària abans de convertir-se en adults.

Encara que es coneixen deu classes de mol·luscs, incloent actuals i extingits, són tres les classes més importants. Aquestes són els gasteròpodes, els cefalòpodes i els bivalves. Els gasteròpodes serien tots els cargols i llimacs i suposen el 80% d'espècies de mol·luscs. En els cefalòpodes s'inclouen als pops, calamars i sípies i resulten el grup menys nombrós, encara que més evolucionat en molts aspectes. Finalment, en els bivalves s'inclouen cloïsses, musclos, ostres i es caracteritzen per ser els únics mol·luscs sense ràdula.

5.2. El cargol poma

Dins dels mol·luscs gasteròpodes podem trobar el Cargol Poma, el qual està actualment essent unes de les espècies invasores més importants al Delta de l'Ebre ja que es troba en una fase d'expansió en aquest entorn natural.

5.2.1. Origen i distribució

El caragol poma, que ha envaït el delta de l'Ebre, és originari de Sud-Amèrica, Brasil i Argentina, principalment de les conques dels rius Amazones, Orinoco, Uruguai i el riu de la Plata.

Des d'aquests països fou introduït a Taiwan, com a font de proteïna alimentària, destinat a ser cultivat per al consum humà. Però no només no va ser apreciat com a aliment a Àsia sinó que, les granges destinades al seu cultiu, foren abandonades. A més, a conseqüència dels tifons típics d'aquesta àrea, els caragols van arribar al medi natural, començant una expansió que en poques

dècades ha ocupat gairebé tot el sud-est asiàtic. En aquests països el caragol poma és una plaga molt greu per als arrossars.

A Sud-Amèrica també aquests caragols s'han estès més enllà del seu lloc d'origen. Per exemple, a Equador, on va arribar el 2010, ja és una plaga molt important. També trobem el caragol poma a Nord-Amèrica i Hawaii.

El Delta de l'Ebre és el primer i únic lloc del continent europeu on entra el caragol (2009). Actualment també és present a l'illa de Gran Canària (2010). Totes les introduccions del caragol fora de la seva àrea d'origen es deuen a la mà humana. Al delta, és possible que els caragols s'escapessin d'un centre de cria pel fet que aquestes espècies eren comprades com a mascotes per a aquaris.

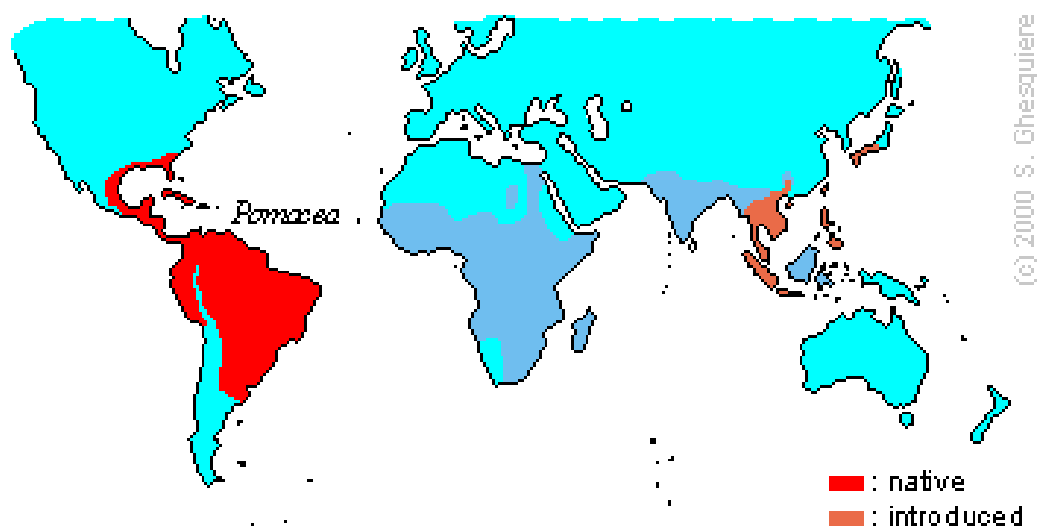


Figura 27. Mapa origen caragol poma i expansió. Font: applesnail.net.

5.2.2. Morfologia

El caragol poma és un mol·lusc gasteròpode aquàtic de la família *Ampullaridae*. Aquesta família es caracteritza per tenir, alhora, pulmons i brànquies. Tenen una tapa que tanca la conquilla, anomenada opercle. Quasi tots fan postes aèries i, sovint, els ous són de colors vius; cosa que fa referència al fet que són tòxics, per això les postes aèries no tenen depredadors naturals.



Figura 28.Ous cargol poma. Font: unproblemadebanyes.blogspot.com.es

Hi ha més de 250 espècies de caragol poma al món. El nom de caragol poma ("Apple Snail") és degut al fet de que sovint són molt grans i tenen una forma arrodonida. El tipus de caragol poma que hi ha al delta de l'Ebre és l'anomenat "Island Apple Snail", de nom científic *Pomacea maculata*.

Al món hi ha dues espècies de caragols poma que s'han convertit en invasores i plagues agrícoles de cultius com l'arròs. Es tracta de *Pomacea insularum* i *Pomacea canaliculata*. Per tot els llocs que han passat, sempre han acabat destrossant el cultiu de la zona, especialment als països del sud-est asiàtic.

Les característiques principals que converteixen aquestes espècies en plagues agrícoles de cultius d'inundació són les següents:

- Són herbívores voraces que mengen tota mena de vegetals aquàtics, incloent el gra i la planta de l'arròs. A Hawaii, per exemple, són una plaga del cultiu del Taro, planta tropical molt emprada en la gastronomia d'arreu del món, mentre que a la resta del món són plaga principalment de l'arrossar.
- Són molt resistents a condicions ambientals extremes. Per exemple, toleren períodes molt llargs de sequera i resisteixen canvis de temperatura. També poden viure en gairebé tot tipus d'aigües.
- Tenen una capacitat reproductiva molt alta i un creixement molt ràpid. Per aquest motiu, a partir de pocs exemplars, poden esdevenir plagues en molt poc temps.

L'anatomia de totes les espècies *Pomacea* és molt similar, i trobar l'anatomia completa de *Pomacea maculata* és molt difícil, perquè al ser una espècie poc

coneguda fins fa poc, la literatura en molts casos és escassa o inexistent. No obstant, hi ha alguns aspectes que he pogut observar directament, propis de *P. maculata*, com la reproducció o el comportament.

Aparell respiratori

Els cargols poma, es diu que són animals amb condició d'amfibi. Això és perquè, encara que el seu medi natural sigui aquàtic, es poden desplaçar per terra i restar-hi durant un temps considerable si els és necessari.

El motiu d'aquesta qualitat tan poc corrent és que tenen un pulmó i una brànquia, i a més tenen un sífó, una mena de tentacle que quan es troben en medi aquàtic, allarguen fins que surt de dins de l'aigua, i així poden respirar amb el pulmó si no hi ha prou oxigen dissolt a l'aigua.

Hi ha científics que afirmen que aquest estrany aparell respiratori és una adaptació al seu hàbitat natural, als boscos inundats d'aigua dolça de Sud Amèrica. Com és d'esperar, hi ha molta fusta i restes vegetals en descomposició en aquesta aigua, i això provoca una falta d'oxigen. Per compensar-ho, els cargols haurien desenvolupat el sífó (sac intern on s'emmagatzema aire), i així aconseguir l'oxigen necessari per complementar la respiració branquial. Un altre factor clau és que la inundació d'aquests boscos no és regular, sinó que està formada per diferents tolls que van canviant segons les condicions meteorològiques. Quan s'acaba l'aliment apte pels cargols en un toll, poden traslladar-se fins a un altre de proper gràcies a la seva respiració pulmonar.

Sistema cardiovascular

El cor d'aquests cargols és un cor simple, només té un ventricle, i una aurícula, on es barreja la sang provinent de l'aparell respiratori (rica en O₂) i la provinent de la resta d'òrgans (pobre en O₂) i això fa que sigui un sistema menys eficient que el que tenim els humans o els ocells. Una peculiaritat és que just després del ventricle hi ha una tercera cavitat, anomenada ampul·la o ampolla aòrtica (d'aquí el nom de la seva família *Ampullariidae*) que serveix per regular la forta

pressió que la sang fa a la arteria aorta durant les contraccions del ventricle, i alhora serveix de sistema de defensa. En l'ampul·la hi ha un gran nombre de fagòcits que eliminen els microorganismes que hi ha en la sang.

Aquest sistema sanguini és un sistema obert, no tenen capil·lars, i perquè la sang arribi a les cèl·lules, l'aboquen als espais intercel·lulars i després la tornen a recuperar.

La sang dels cargols poma compleix dues funcions crucials per l'organisme:

- Per transportar diferents substàncies com CO₂, O₂, aliments, residus o hormones.
- Per fer d'esquelet del cargol, ja que no en tenen un d'autèntic, i aleshores obrint i tancant vàlvules del seu cos i ajudant-se de contraccions musculars, fan que la sang infli els òrgans que els interessa en cada moment, com per exemple una antena, el sífó, o el peu musculós per desplaçar-se.

Una altra característica de la sang dels cargols és que és incolora, com la de la resta dels mol·luscs, perquè, a diferència de nosaltres no fan servir l'hemoglobina per transportar l'oxigen. Utilitzen l'hemocianina, una proteïna amb dos àtoms de coure, on s'hi poden unir àtoms d'oxigen reversiblement, i a més, aquesta proteïna no està emmagatzemada en cap cèl·lula, sinó que està en suspensió a la sang. Quan entra en contacte amb una gran quantitat d'oxigen, pot adquirir un cert to blavós.

Sistema nerviós i sentits

El sistema nerviós està format per diferents ganglis, connectats entre ells per feixos nerviosos i distribuïts per tot el cos, que s'encarreguen de coordinar els diferents òrgans. L'estructura nerviosa presenta una figura peculiar, com una forma de 8 degut a la torsió del caragol.

Els més importants són els ganglis cerebrals, que processen la informació del que passa a l'exterior provinent dels ulls, tentacles, etc.

Per suposat, també reben informació de l'exterior a partir del tacte, ja que en tot el cos tenen Mecano receptors (detecten moviment, pressió, dolor) i receptors químics que reben feromones provinents d'altres individus de l'espècie, indispensables per la reproducció.

El sentit més ben desenvolupat que tenen és l'olfacte, que els serveix per saber quines substàncies químiques hi ha a l'aigua, i també per detectar l'aliment. L'òrgan encarregat de tot això és l'osfradi, una petita protuberància situada a prop del pulmó, i que està vinculada amb el sistema respiratori.

Els ulls, en canvi, són de molt baixa qualitat; no poden veure imatges definides, només els serveixen com a fotocaptors per detectar on hi ha llum. Per saber per on anar, fan servir dos tentacles cefàlics que són bastant llargs i palpen el terreny. Els tentacles bucals, més curts, els utilitzen per detectar l'aliment.

El que és més curiós, és que no tenen cap òrgan auditiu i no presenten cap reacció a canvis acústics. Són, per tant, completament sords.

Un altre fet curiós és que si perden un ull, són capaços de tornar-lo a generar per complet.

Aparell digestiu

La digestió dels cargols, així com la nostra, consta de diferents parts, diferents processos necessaris que s'han de fer fins poder assimilar les diferents substàncies químiques dels aliments ingerits. *Pomacea maculata* és molt voraç durant els primers mesos de vida, i consumeix principalment vegetals de fàcil digestió. Tot i així també és capaç de menjar-se peixos morts si hi ha escassetat d'aliment, i en algunes proves fetes al Laboratori del Canal Vell del Delta per determinar quan de temps poden estar sense aliment, els cargols es menjaven els seus companys d'aquari que estaven mig moribunds.

Encara que aquesta plaga afecta principalment els conreus d'arròs, també s'alimenta de molts altres vegetals. Els altres principals cultius que perjudica són els del taro (a Hawaii) i els de lotus (a Xina i Japó).

Per començar el procés digestiu, els cargols poma s'introdueixen el menjar a la boca i tallen el que els sobra amb unes mandíbules laterals, amb un moviment similar a unes tisores, i després ho trituren. Però no amb dents, ja que no en tenen, sinó amb la ràdula, una mena de llengua coberta de pues cartilaginoses amb la qual raspen l'aliment amb l'ajuda d'una "funda" de la ràdula (semblant a un paladar).

Després de barrejar-ho amb la saliva, que ja conté alguns enzims digestius, l'aliment és deglutit i baixa per l'esòfag fins arribar a l'estómac, format per tres parts. El primer és anomenat pedrer i conté grans de sorra que de tant en tant els cargols empassen, per ajudar a moldre l'aliment. Existeix un òrgan anàleg en alguns ocells anomenat també pedrer.

Després passa al vestíbul, on la glàndula digestiva allibera els enzims digestius. Després l'aliment arriba a l'última cambra de l'estómac, anomenada sac, que passarà l'aliment fins a l'intestí, controlat per un esfínter.

A l'intestí els cargols hi tenen una diversa microbiota intestinal que produeix els enzims necessaris per trencar els enllaços de la cel·lulosa, i així la poden assimilar. A l'acabar el trajecte de tot l'intestí, les excedències són expulsades per l'anús, que està situat per sobre del seu cap.

5.2.3. Biologia i ecologia

Pomacea maculata es mou pel fons del riu, i quan ho fa, sempre va en contra del corrent. És comú que els caragols petits es posin sobre la closca dels més grans, i així es desplacen més ràpidament. Aquesta és l'única relació interespecífica que presenten a part de la còpula. A vegades quan es senten amenaçats, inflen el seu pulmó d'aire i es deixen portar pel corrent.

Neixen amb 2-5mm, i al ser tant petits són fàcilment transportats pel corrent del riu, provocant una extensió ràpida. Per això sempre que es desplacen pel fons del riu o canal, ho fan a contracorrent, perquè sinó acabarien arribant al mar.

Tenen un creixement molt ràpid. Amb un mes passen de fer 2-5mm a 1-1,5 cm, i a partir dels 3 mesos ja fan 2,5cm o més. Els adults, sobretot les femelles, poden arribar a fer fins a 15cm, i poden viure fins a 5 anys.

El seu sistema de defensa més gran, a part de la closca, és l'opercle, una mena de tapa de calci que utilitzen per tancar-se dins la closca en nombroses ocasions. Quan són trets de l'aigua es tanquen, fins que noten que torna a haver-hi un nivell d'humitat elevat. També es tanquen quan es senten amenaçats o quan noten substàncies nocives en l'aigua.

Finalment, quan assequen els camps i arriba el fred, s'enterren uns 5 cm sota terra, i no en tornen a sortir fins que noten que torna a haver-hi aigua. Poden hivernar fins a 3 mesos, i poden suportar temperatures de fins a -6°C. A part d'això hi ha molt pocs depredadors naturals del caragol poma. La formiga "de foc" es pot menjar els seus ous, hi ha algun ocell que els caça (*Rostrhamus sociabilis*) i també algun crustaci (*Macrobrachium rosenbergii*) però aquestes espècies no es troben al delta, on no tenen cap mena de depredador o competència.

Pel que fa a la dinàmica d'invasió, el cargol poma es pot dispersar de un medi a un altre de moltes maneres, però les principals són:

- Ús de maquinària agrícola que s'ha fet servir en les zones afectades.
- Contacte amb embarcacions o un altre material procedent de les zones afectades.
- Moviment actiu dels cargols per aigües o mitjançant corrents d'aigua de les sèquies i canals.
- Negligències en usar-ho indegudament com a esquer de pesca o alliberament des dels aquaris particulars.



Figura 29. Maquinaria collint arròs. Font: web.gencat.cat

5.2.4. Impactes

La introducció al Delta de l'Ebre de la plaga del cargol poma, que és l'espècie invasora més perjudicial que ha conegut un dels aiguamolls més importants d'Europa, té grans efectes ambientals i també econòmics sobre el cultiu de l'arròs.

El dany principal, en les regions del món on el cargol poma hi és present com a plaga, és la ingesta de les plàntules d'arròs. Secundàriament, quan la planta d'arròs inicia el procés de "fillolat", és a dir quan rebrota, també pot ser un moment crític. Segons la bibliografia, els danys poden arribar al 60-90%. Un cop la planta d'arròs ha crescut, el cargol no li causa cap efecte.

Actualment, és un greu problema pels pagesos i pels departaments d'agricultura de la Generalitat, ja que cada any han de fer grans despeses econòmiques per mantenir el caragol a ratlla i evitar així una gran pèrdua dels cultius d'arròs.

A l'Annex 3 es presenta una cerca a la *Web of Science* amb les paraules clau "*Pomacea maculata*" per tal de tenir una aproximació de la recerca feta fins a la data referent als impactes d'aquesta espècie de Cargol Poma a nivell internacional

5.2.5. Problemàtica al Delta de l'Ebre

El caragol poma va ser detectat al Delta de l'Ebre pel sindicat Unió de Pagesos l'estiu del 2009. Van ser trobats diferents exemplars en uns terrenys propers a l'Aldea, que es van disseminar primer per la Sèquia Mare. Després per tota la xarxa de canals i desguassos, i en poc temps ja s'havien escampat per tot l'hemidelta esquerre, encara que el nombre d'exemplars no era molt elevat.

Els primers camps on es va trobar una presència considerable del caragol poma, a part de ser propers a l'Aldea, també eren els que estaven més a prop de les instal·lacions d'una empresa anomenada Promotora Bama, dedicada a la comercialització de peixos i altres animals d'aquari exportats de països d'arreu del món.

Aquesta empresa havia originat algun problema en anterioritat perquè se'ls escapaven algunes cries de peixos exòtics pel desguàs i anaven a parar als canals de reg. El Parc Natural va obligar-los a posar una reixa que evités l'evasió d'aquests peixos que podrien esdevenir invasors, però, segons fonts d'habitants de la zona, la empresa va acabar retirant la reixa, perquè s'havia de netejar cada dia i comportava una pèrdua de temps pels treballadors.

Dintre dels aquaris de l'empresa, a més dels peixos exòtics, també hi havia cargols poma *Pomacea diffusa*, poc perillosos com a espècie invasora i molt populars entre els aficionats a l'aquariofília pels seus colors càlids i perquè es menja les restes d'algues dels aquaris, tot netejant-los.

No se sap perquè, l'empresa va deixar de comercialitzar amb *P. diffusa* i va començar a fer-ho amb *Pomacea maculata*, i també amb *Pomacea canaliculata*. Com s'ha esmentat anteriorment, aquestes dos espècies són molt semblant entre elles i en algun cas es poden encreuar tenint descendència fèrtil.

L'empresa va deixar de comercialitzar amb *P. Difusa* i va començar a fer-ho amb *Pomeaca maculata* i amb *Pomeaca canaliculata* ja que el seu manteniment era molt més econòmic.

5.2.6. Possibles solucions

Les solucions amb les que s'ha vist mes projecte de futur han sigut:

5.2.6.1. La cianamida càlcica

És un adob nitrogenat que s'utilitza bastant al Japó per a mantenir a ratlla el cargol poma. Tot i ser un adob, allibera àcid cinàmic que permet l'acció mol·lusquicida. Per veure com utilitzar aquest adob i la seva efectivitat a l'hora de combatre la plaga del cargol poma evitant la i la seva fitotoxicitat (grau de toxicitat) sobre l'arròs, investigadors de l'IRTA han dut a terme un assaig sobre el seu maneig, per encàrrec del Departament d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya.

Els resultats de l'assaig fet durant la campanya de 2015 han demostrat que aplicant dosis de 350 kg/ha de cianamida càlcica s'aconsegueix una mortalitat del 100% del cargol poma 6 dies després del tractament. Per a que aquest producte sigui efectiu s'ha d'aplicar quan el cargol poma està actiu, amb un nivell d'aigua de 3-5 cm, i cal prendre les mesures de protecció pertinents.



Figura 30. Esquerra. Àcid cinàmic. Font: ca.wikipedia.org. Ala drete. Cianamida càlcica. Font: fertilizer.es

5.2.6.2. Neu 1184M

L'IRTA també ha fet un estudi sobre l'eficàcia del producte Neu 1184M en la protecció de l'arròs contra el cargol poma. Aquest producte és atraient per al cargol poma i funciona com a esquer.

En aquest estudi, la màxima mortalitat de cargol poma obtinguda ha estat del 63% amb Neu 1184M després de 7 dies de l'aplicació del tractament mantenint el nivell de producció. Tot i no ser una solució definitiva, aquesta pot ser també una estratègia a tenir en compte per protegir la planta d'aquesta plaga.

Aquest producte, desenvolupat per una empresa d'Alemanya, encara no està autoritzat a Catalunya tot i que la companyia està interessada en ampliar el registre per a fer possible el seu ús.

Els investigadors de l'IRTA van presentar aquestes novetats als arrossaires del Delta de l'Ebre en el marc de la XII Jornada tècnica de l'arròs celebrada a Deltebre (Baix Ebre).



Figura 31.Neu1184M. Font: recercat.cat

5.2.6.3. La gamba gegant de riu '*Macrobrachium rosenbergii*'

Els investigadors veuen futur en la gamba gegant de riu '*Macrobrachium rosenbergii*', molt popular a la cuina tailandesa, la possible solució per acabar amb el destructor cargol poma al Delta de l'Ebre.

Aquesta gamba gegant s'ha provat altament eficaç per eliminar plagues de cargol poma en diversos països asiàtics, però fa falta més coneixement científic de com funcionaria al Delta i resoldre incògnites com la seva tolerància a determinats pesticides usats als arrossars, als quals aquest crustaci sembla sensible.



Figura 32. Gamba gegant de riu. Font: regio7.cat

5.2.6.4. Saponines

Les saponines són glucòsids d'esteroides o de tri-terpenoides, anomenades així per les seves propietats semblants a les del sabó. Cada molècula està constituïda per un element soluble en lípids (l'esteroides o el tri-terpenoide) i un element soluble en aigua (el sucre), i formen una escuma quan se les s'agita en aigua. Les saponines són tòxiques. Hi ha una gran varietat de plantes que contenen saponines en diferents concentracions. Per exemple, l'espuma de la cervesa, és una saponina.

Tradicionalment les saponines eren usades pels indígenes centreamericans per rentar les seves robes i també els seus cabells. Actualment és usada en una gran diversitat d'aplicacions.

Un químic xilè es va adonar per casualitat ara fa uns set anys, que les saponines tenien caràcter mol·lusquicida, és a dir, que matava els mol·luscos. Altres empreses es van posar a investigar diferents saponines i després de diverses proves, ara es comercialitza de tres maneres diferents, en forma líquida, en pols i en pellet.

La saponina es subministra diluïda en aigua, en una concentració que sigui prou forta per matar el cargol però prou baixa perquè el cargol no detecti la substància perjudicial en l'aigua i es tanqui hermèticament amb l'opercle.

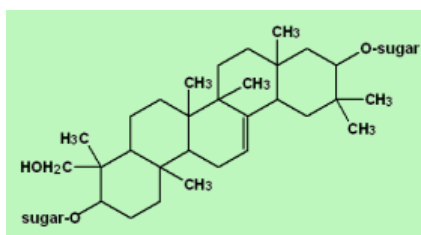


Figura 33. Estructura saponina. Font: phytochemicals.info

6. El musclo zebra

6.1. Els mol·luscs

Com s'ha comentat en l'apartat 5.1 d'aquesta memòria, els mol·luscs són uns animals invertebrats molt nombrosos i diversos. En el grup dels bivalves s'inclouen cloïsses, musclos i ostres, entre d'altres, i es caracteritzen per ser els únics mol·luscs sense ràdula.

6.2. El Musclo Zebra

El musclo zebra (*Dreissena polymorpha*) està considerat com una de les 100 espècies invasores més perjudicials del planeta pel seu impacte ambiental i econòmic.

6.2.1. Origen i distribució

Els musclos de zebra es van trobar inicialment als rius i llacs que es connecten amb el Mar Negre i el Mar Caspi, a l'est d'Europa i Àsia occidental. La construcció d'embarcacions i canals als anys 1800 els va permetre estendre's cap a l'oest a la majoria de rius i llacs europeus. A finals del segle XX es van portar accidentalment a Amèrica del Nord, probablement a l'aigua de llast de grans vaixells. Ara es reproduïxen a la conca dels Grans Llacs, la majoria del drenatge del riu Mississipí, el riu Hudson i molts altres rius orientals d'Amèrica del Nord.



Figura 34. Mars negre i caspi. Font: gifex.com

6.2.2. Morfologia

El musclo zebra és un petit mol·lusc anomenat per al patró ratllat de la seva closca. Els patrons de color poden variar fins al punt de tenir només petxines fosques o de color clar i sense ratlles. Normalment es troba enganxat a objectes, superfícies o altres musclos per fils que s'estenen des de sota de les petxines. Encara que semblen semblants a un altre musclo d'aigua dolça, el musclo “quagga” (*Dreissena bugensis*), les dues espècies es poden distingir fàcilment. Quan es col·loquen sobre una superfície, els musclos de zebra són estables a la part inferior plana, mentre que els musclos “quagga”, que no tenen una superfície plana, cauran.

El musclo zebra és un mol·lusc bivalve d'aigua dolça amb una enorme capacitat de proliferació (les femelles poden arribar a produir un milió d'òvuls per temporada) i colonització (els musclos adults es poden fixar pràcticament a qualsevol substrat dur).



**Figura 35. A l'esquerra: Musclo “quagga”. Font: en.wikipedia.org /
A la dreta : Musclo zebra. Font: revista.consumer.es**

El musclo zebra es caracteritza per tenir una forma triangular. Generalment pot arribar a una llargada d'entre 26 i 40 mm i una amplada d'entre 17 i 20 mm. La closca acostuma a ser de color marró fosc fins a negre, amb línies de color marró clar.

El musclo zebra és l'únic d'entre els musclos d'aigua dolça que, en estat larvari, no es fixa enlloc (té unes potes especials) i pot flotar (transport).

6.2.3. Biologia i ecologia

El musclo zebra (*Dreissena polymorpha*) pertany a la família dels dreissènids, que es caracteritzen per ser bivalves en forma de musclo, amb les valves sense nacre i proveïdes d'una làmina just sota l'umbó, on s'insereix el múscul adductor anterior.

Els individus adults tenen una closca de forma triangular, semblant a un musclo marí petit encara que la seva llargada màxima és de 3 cm i la seva closca està formada per bandes clares i fosques en forma de ziga-zaga.

El nom de "*polymorpha*" es ben apropiat degut a les diverses formes i colors que adopten les ratlles de les seves closques, podent trobar així individus amb una coloració molt clara i altres completament foscos.

El seu cicle vital inclou dues etapes: com a larva (fase planctònica) i com a adult (fase bentònica). Durant la fase planctònica que dura aproximadament quatre setmanes, és quan l'espècie es pot escampar i colonitzar tota mena de substrats durs.

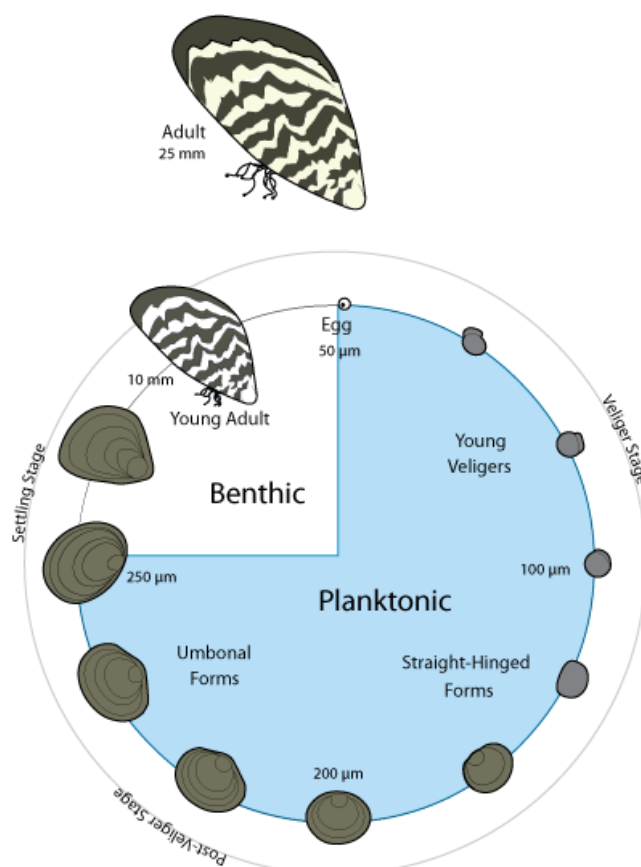


Figura 36. Cicle vital Musclo Zebra. Font: stopaquaticzebramussels.weebly.com

Es nodreix de plàncton per filtració de l'aigua. El plàncton es compon d'animals i plantes que floten passivament a l'aigua o que tenen capacitat de moviment ja que es transporten de lloc a lloc pels corrents.

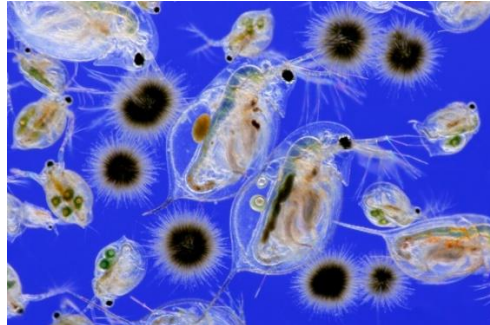


Figura 37. Plàncton. Font: taringa.net

Els musclos zebra adults comencen a reproduir-se a la primavera, quan les temperatures de l'aigua augmenten fins als 12 ° C. En hàbitats on l'aigua es manté càlida durant tot l'any, es pot reproduir contínuament.

Les femelles alliberen els ous a l'aigua i els mascles alliberen espermatozoides i la fecundació es produeix després de la seva alliberació. Les femelles creixen i alliberen ous en lots de fins a 40.000, fins a quatre vegades durant la temporada de reproducció, que dura mentre l'aigua es manté prou calenta. Cadascun pot alliberar fins a 1 milió d'ous cada any.

Els musclos zebra són madurs i es poden reproduir quan són de 8-9 mm de longitud, generalment després d'un any de creixement.

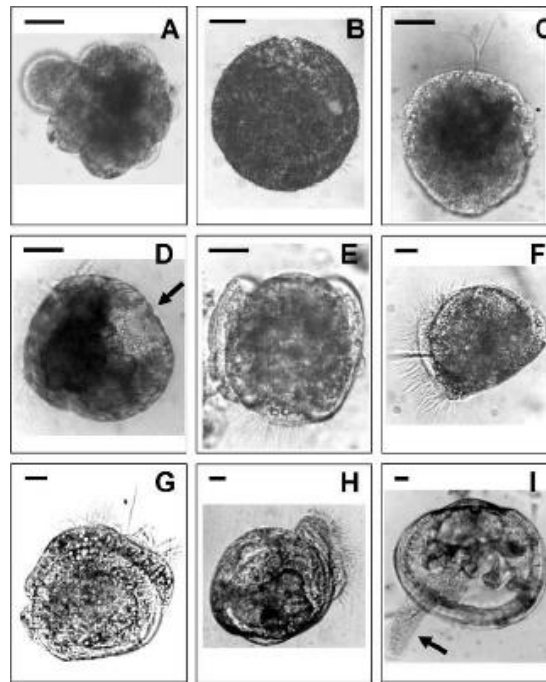


Figura 38. Procés de creixement d'un ou. Font: researchgate.net

6.2.4. Impactes

El musclo zebra afecta l'ecosistema de diverses maneres. Un dels impactes devastadors dels musclos de zebra implica reduir els aliments disponibles per als animals aquàtics, que interrompen la cadena alimentària ja que s'alimenta de gran quantitat de fitoplàncton, fet que redueix la quantitat d'aliments disponibles per a espècies aquàtiques, com ara peixos, etc. Això fa que l'aigua sigui més clara i que permeti que la llum solar penetri més a l'aigua, provocant la fotosíntesi que afavoreix el creixement de la vegetació aquàtica. A més a més, l'aigua més clara provoca que els animals aquàtics sensibles a la llum solar s'aproximin a l'aigua i a les aigües més fosques.

El musclo de zebra evita la ingestió de determinats tipus de fitoplàncton, com ara algues, això condueix a un augment de la proliferació d'algues a l'aigua. Filtrant l'aigua, els musclos de zebra acumulen contaminants en els seus cossos. Això afecta la salut i el benestar dels animals i animals aquàtics que mengen el musclo de zebra. Un altre efecte és que el musclo zebra ha provocat una disminució de la població d'animals aquàtics nadius, per exemple, cloïsses, peixos, etc. El musclo de zebra afecta la cloïssa nativa quan s'adhereix a ella ja

que dificulten el moviment, l'alimentació i la respiració. L'impacte econòmic dels musclos de zebra a Amèrica del Nord durant la propera dècada s'espera que suposi la despesa de milers de milions de dòlars.

Pel que fa a la societat, el musclo causa molts desperfectes, i per tant provoca una inversió molt gran de diners. Les principals conseqüències són:

- S'instal·len a l'interior de les canonades taponant l'entrada d'aigua a les indústries.
- Provoca que s'hagin de fer tractaments de costos molt elevats per eliminar-los.
- S'adhereixen a les parets de les llars properes a l'aigua.
- Quan moren deixen una olor fètida i una visió molt desagradable al descompondre's.
- Trenquen l'equilibri dels ecosistemes quan es reproduïxen de manera descontrolada.



Figura 39. Cranc mort a causa de la infestació del musclo zebra. Font: shipmatesboatcleaning.com



Figura 40. Canonada industrial infestada de musclo zebra. Font: essemaq.com

6.2.5. Problemàtica al Delta de l'Ebre

El musclo zebra sobrepassa l'Ebre i es detecta per primera vegada al Llobregat. Els investigadors consideren que el musclo zebra va arribar a l'Ebre de la mà d'una altra fauna invasora introduïda per a la pesca recreativa, en cisternes de fins a 5.000 litres d'aigua de rius centreeuropeus on eren les larves.

Un cop instal·lat, va trobar les condicions idònies per augmentar la seva població de manera descontrolada ja que no tenia depredadors naturals, la temperatura anual de l'aigua era idònia per a la seva reproducció, de manera que es podia reproduir durant tot l'any, i va trobar una gran font d'aliments.

El musclo zebra està considerat l'invasor perfecte, perquè no admet tractaments químics, no té depredador específic i només es pot eliminar amb sistemes de filtratge de l'aigua molt cars. El musclo zebra ja ha destruït una part del patrimoni natural del riu Ebre i està perjudicant els regants, perquè embussa les canonades. Aquesta espècie ja va envair els Estats Units anys enrere i està considerada una de les principals amenaces de la fauna autòctona de Centre Amèrica.

Actualment, aquest animal és un greu problema per a l'economia i la fauna del Delta, ja que la seva població està augmentant progressivament.

Per aquest motiu la situació actual és preocupant, i molts departaments d'investigació estan buscant nous mètodes d'eradicació d'aquesta espècie de manera que siguin més eficients i econòmics que els que hi ha actualment.

6.2.6. Possibles solucions

A més de l'elevat cost mediambiental, hi ha algunes estimacions que els musclos zebres han costat més de tres mil milions de dòlars a la indústria en els últims deu anys. A causa d'aquests costos, s'estan investigant moltes de les solucions possibles solucions per eliminar tots aquests danys que esta causant a la societat.

Algunes possibles solucions per al musclo zebrat i els problemes associats amb ells són:

- L'ús d'ones de ràdio de baixa freqüència per provocar un desequilibri iònic en els musclos zebra.
- El "BioBullet" que són uns pellets microscòpics de sals verinoses segellades en un abric de greix.
- *Pseudomonas fluorescents*, que és un bacteri comú, però tòxic per als musclos zebra.
- L'exposició dels musclos zebra embarassats a nivells elevats de serotonina.

6.2.6.1. Ones de ràdio de baixa freqüència

Matthew F. Ryan, investigador de la Universitat de Purdue i els seus col·laboradors, van descobrir que és possible matar els musclos zebra utilitzant ones electromagnètiques de baixa freqüència. Aquests investigadors afirmen que les ones electromagnètiques no perjudiquen a altres fauna aquàtica com peixos o fins i tot mol·luscs autòctons.

Segons Ryan, les ones electromagnètiques alteren la fisiologia del musclo, fent que alliberi minerals essencials com el calci que són vitals per a la seva closca. La raó per la qual afecta els musclos zebra i no les espècies autòctones és que els musclos zebres tenen uns metabolismes molt ineficients. Només conserven aproximadament el 30% dels nutrients que filtren, i quan els nivells de calci baixen, el musclo es destaca i filtra cada cop menys aigua, cosa que no permet recuperar els nutrients perduts. Després d'exposar-se a ones de ràdio durant uns 40 dies, van morir tots els musclos zebres que tenien com a mostra per testar aquesta possible solució al problema.

A part d'un mètode eficient per distribuir les ones de ràdio, l'ús de la radiació electromagnètica per eradicar la població de musclos zebra sembla molt prometedora, especialment perquè no hi ha efectes perjudicials en altres formes de vida aquàtiques.

6.2.6.2. El “BioBullet”

El clorur de potassi, una sal essencial per als éssers humans, encara que letal en dosis elevades, és una alternativa esperançadora a l'ús del clor per a l'eliminació dels musclos zebres.

El Dr. David Aldridge, de la Universitat de Cambridge, va descobrir que el clorur de potassi era excepcionalment tòxic per als musclos zebres, i que la dosi necessària per matar un musclo zebra no farà malbé cap altra cosa.

A través d'assajos i investigacions, va descobrir que, prenent clorur de potassi, embolcallant-lo amb una capa d'àcids grassos de 105 micres (1,1 mm), l'equivalent a les partícules que els musclos de zebra filtren de l'aigua, s'obtenia un producte que atreïa als musclos degut als àcids grassos i que dins contenia el verí.

Després d'una prova preliminar, el 60% dels musclos zebra de prova van morir després d'una aplicació d'un producte derivat del clorur de potassi anomenat "biobullet".

Les investigacions fetes fins ara no mostren cap dany per a les poblacions de musclos locals i, si els pellets no són consumits per un musclo zebra, es dissolen inofensivament a l'aigua.



Figura 41: “BioBullet”. Font: ecodosing.com

6.2.6.3. *Pseudomonas fluorescens*

Pseudomonas fluorescens és un bacteri comú que colonitza els ambients de sòl, aigua i superfície vegetal. Serveix a diversos propòsits, incloent la supressió de malalties vegetals mitjançant la protecció de llavors i arrels dels fongs i la creació d'antibiòtics.

Des de 1991, Daniel Molloy, investigador del Museu de l'Estat de Nova York a Albanyà, ha intentat identificar els depredadors, paràsits i microbis infecciosos que poden matar els musclos zebres. Ell i els seus col·legues van descobrir que el bacteri destrueix una glàndula digestiva dins dels musclos, donant lloc a la seva mort.

Els assajos a petita escala, amb l'objectiu d'identificar i purificar la toxina, han demostrat que el bacteri pot eliminar els musclos zebres en canonades en una central hidroelèctrica, aconseguint mortaldats de fins al 95%.

Tot i això, atès que aquests investigadors encara no han pogut aïllar la toxina produïda per aquest bacteri, i a més hores d'ara és molt difícil de produir tants bacteris per aquest propòsit, aquest mètode de lluita contra el musclo zebra encara no és viable.

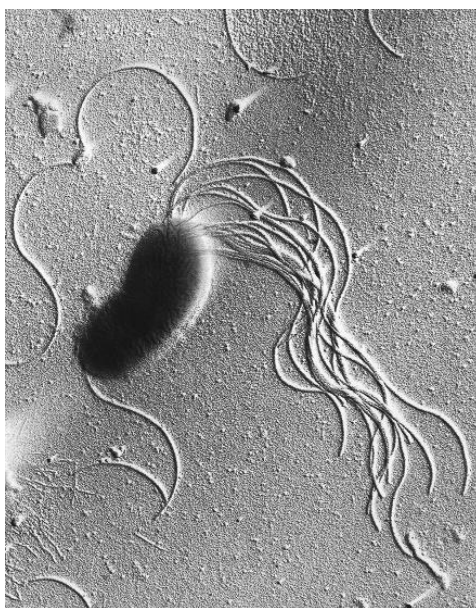


Figura 42. *Pseudomonas fluorescens*. Font: sciencephoto.com

6.2.6.4. Serotonina

Un estudi realitzat per Rebecca M. Heltsley, biòloga de l'Institut Nacional d'Estàndards i Tecnologia de Charleston, Carolina del Sud, està provant l'efectivitat de la interrupció de la reproducció en els musclos zebra utilitzant l'hidroclorur de fluoxetina química. L'hidroclorur de fluoxetina és l'ingredient actiu en el medicament de prescripció Prozac, i augmenta la producció de serotonina.

L'equip va demostrar que els musclos zebres embarassats, si estan exposats a serotonina extra, alliberen larves inviables. L'equip també va provar els musclos helicoïdals orientals femenins -una espècie local- en dipòsits d'aigua lligats amb serotonina i va trobar que, dins de quaranta vuit hores, la majoria dels musclos havien alliberat larves massa immadures per sobreviure.

Les perspectives d'aquesta solució potencial es veuen bastant fluïxes. Ja que perjudica a les poblacions de musclos locals que ja estan en perill d'extinció a causa del musclo zebra, i seria tan probable eliminar les espècies autòctones a la vegada que el musclo zebra. És dubtós doncs que s'adopti aquesta solució.

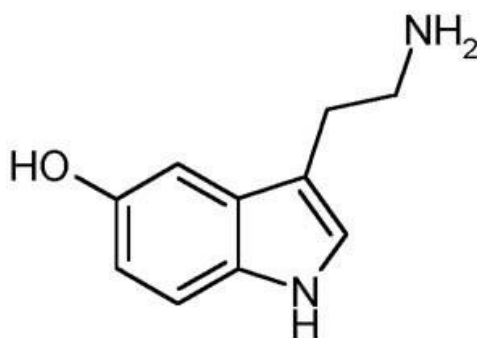


Figura 43. Estructura serotonina. Font: psicologiaymente.net

7. Estudi de l'eficàcia de la saponina *Camelia* olífera en l'eradicació i control del Cargol Poma (*Pomacea maculata*) al Delta de l'Ebre

7.1. Introducció

Aquesta part practica es basa en testar l'efectivitat d'un nou tipus de saponina, la qual és tòxica per el cargol poma, en un camp infestat de cargol per tal d'obtenir un percentatge d'efectivitat i decidir si és més eficaç que els productes que s'han utilitzats fins ara.

S'ha contactat amb el Sr. Miguel Angel López, del Departament d'Agricultura i Ramaderia d'Amposta, qui va facilitar tot el material necessari per la prova, i va deixar participar en l'aplicació d'aquest tractament. En l'Annex 2 es pot trobar les dades d'aquest investigador així com una entrevista referent a les espècies en el Delta de l'Ebre.

L'objectiu principal d'aquesta part practica és determinar el grau d'efectivitat d'un tipus determinat de saponina anomenada *Camellia oleífera*, amb la intenció de buscar una solució eficaç contra el caragol poma i així es pugui mantenir a ratlla la invasió d'aquest mol·luscs, de manera que la seva població afecti de forma mínima a la hora d'obtenir la collita d'arròs.

7.2. Materials

- 90 caragols sans d'entre 2 i 4 centímetres d'amplada.
- Peu de rei
- 3 gàbies amb tres compartiments cada una.
- Brides per tacar les gàbies.
- Recipients per separar els cargols aptes dels no aptes.
- Corda i 3 bastons per poder lligar les gàbies a terra.
- Saponina del tipus: *Camellia oleífera*
- Motxilla fitosanitària.
- Aigua.
- Oxímetre marca Hanna

- Conductímetre marca Hanna
- Termòmetre
- Mesurador de PH
- Pinces per observar si els cargols estan vius o no.

7.3. Metodologia

7.3.1. Recollida de Caragols.

Actualment, el cargol poma ha aconseguit envair tota la part nord del Delta, és a dir, la part que es troba al nord del riu Ebre. En canvi gràcies a l'existència del riu, que fa de barrera biològica per a que els cargols no puguin passar, no han aconseguit arribar a la part sud.

El primer pas que es va fer al començar l'experiment consistia en recollir caragols per a fer-los servir com a prova per testar un tipus de saponina nova: *Camellia oleífera* (Planta del té).

Aquesta saponina s'havia d'aplicar en un camp infestat a la zona sud del delta (la zona sud no està infestada, i en cas de que se'n trobés un d' infestat s'actuaria d'immediat com en aquest).

Per recollir els caragols es va haver d'anar a la part nord del delta la qual està infestada de caragol i on se'n troben en grans quantitats, al costat de la població anomenada l'Aldea. Mes concretament es va anar just al cantó de la piscifactoria abandonada on va començar la invasió tal i com s'explica en la part teòrica d'aquesta memòria.

Es van agafar uns 400 caragols aproximadament, 200 de l'entrador d'aigua d'un desguàs, i 200 mes d'un canal de rec. -Per fer aquest experiment és molt important que hi hagi una introducció aleatòria, és a dir, els cargols no poden ser preseleccionats sota cap concepte, no es pot mostrar cap tipus de preferència en agafar-los del canal, sinó els resultats de les proves podrien ser deguts a variables no controlades.

Això vol dir que tots els cargols que veia al canal, els havia d'agafar i posar-los en una capsa, no podia, per exemple, agafar els més grossos i deixar els individus menys desenvolupats (Figura 44).



Figura 44. Esquerra: Desguàs d'un camp d'arròs a la part nord del Delta. Dreta: Camp infestat de caragols al Delta nord. Font pròpia.

7.3.2. Tria de caragols

Un cop es van tenir suficients exemplars, es van sotmetre els cargols a una estona de repòs (Figura 45).

Després d'uns minuts en repòs, es van retirar els cargols morts o que no donaven senyals d'activitat, i els que tenien l'opercle malmès o trencat; l'opercle és el principal mecanisme de defensa dels cargols, per impedir que substàncies perjudicials entrin en contacte amb el seu cos. Si tenen l'opercle en mal estat, serien més vulnerables al tractament i morrien més fàcilment que els altres exemplars.



Figura 45. Esquerra: Caragols en repòs abans de la tria. Dreta: Tria de caragols aptes per l'experiment. Font pròpia.

A continuació , es trien els cargols tot separant els cargols sans de la resta, de manera que no quedin molt amuntegats (Figura 46).



Figura 46. Procediment mesura dels cargols mitjançant el peu de rei. Font pròpia.

Tot seguit es classifiquen en mascles i femelles, de manera que es pugui saber el nombre exacte d'individus de cada gènere que hem trobat (Figures 47 – 52).



Figura 47. Grup femelles 1. Font pròpia.



Figura 48. Grup femelles 2. Font pròpia.



Figura 49. Grup femelles 3. Font pròpia.



Figura 50. Grup femelles 4. Font pròpia



Figura 51. Grup mascles 1. Font pròpia.



Figura 52. Grup mascles 2. Font pròpia.

En total van ser 38 mascles, i 74 femelles. Recordem que es difícil que agafem el mateix nombre de mascles que de femelles, ja que els cargols s'elegeixen de forma aleatòria.

7.3.3. Mesura de les variables dependents

Després d'haver fet la tria de caragols, es va apuntar la quantitat d'oxigen (mg/l) de cada ampolla, la temperatura, el grau de pH i també la seva conductivitat (mS/cm o μ S/cm) per comprovar-ne la salinitat. Aquest procediment es va fer tant en l'aigua del desguàs com en la del canal.

Per poder saber la quantitat d'oxigen feia servir l'oxímetre. La quantitat d'oxigen dissolta en l'aigua depèn de les altres substàncies que tingui dissoltes i de la temperatura, com més alta sigui aquesta més oxigen es dissoldrà a l'aigua.

L'oxímetre pot mesurar l'oxigen en tant per cent sobre el total que hi pot haver dissolt a l'aigua, o en mg/L.

Per saber la salinitat de l'aigua s'utilitzava el conductímetre. Cal saber que el conductímetre no calcula la quantitat d'una sal concreta que hi ha a l'aigua, sinó que en determina la conductivitat elèctrica, a partir de la qual es pot deduir la massa total dels soluts que conté.

La conductivitat elèctrica és la capacitat específica de la matèria de transmetre el corrent.

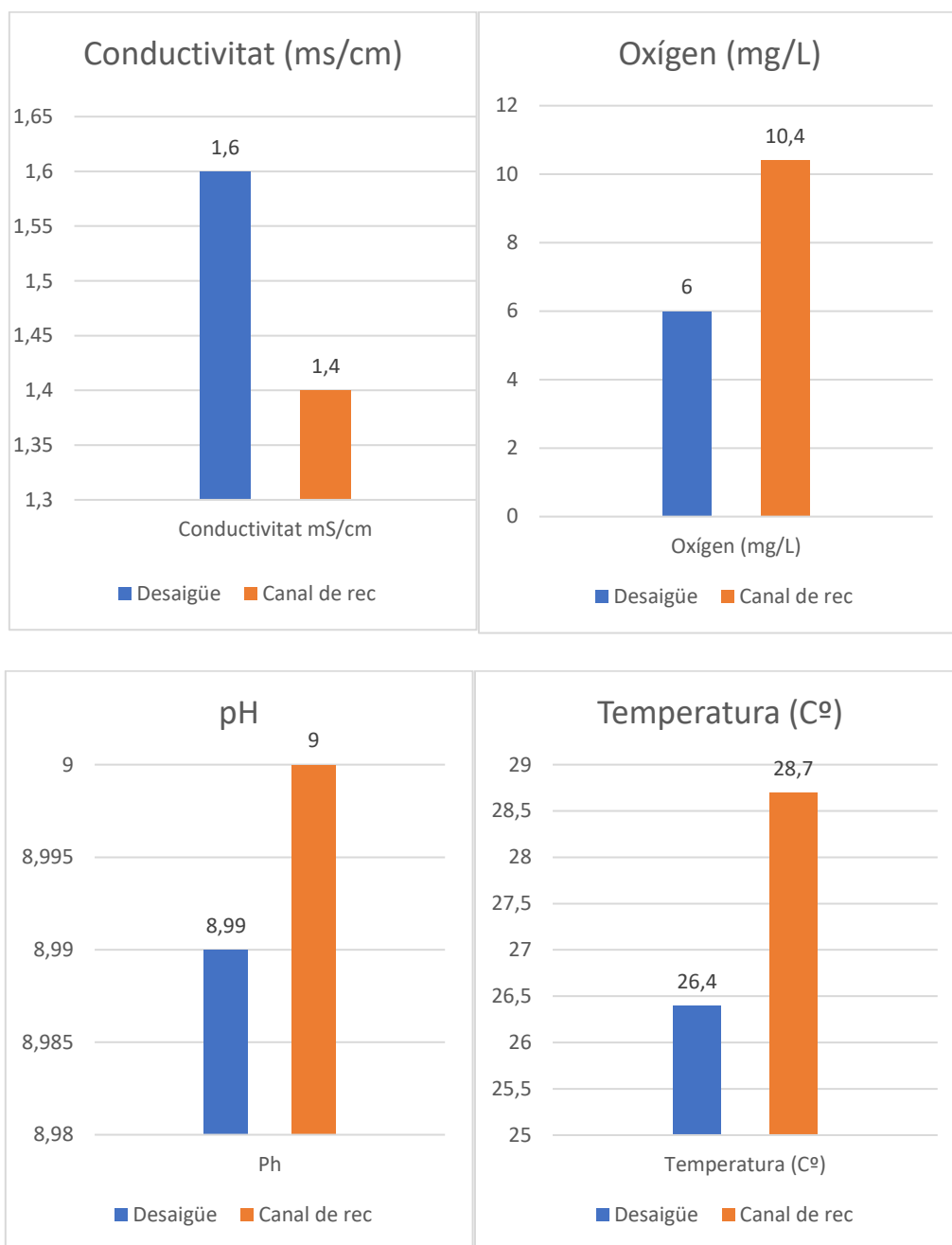
També es va haver de calcular el grau de pH de l'aigua amb un mediador de pH. El pH és la unitat de mesura que descriu el grau d'acidesa o alcalinitat i és mesurat en una escala que va de 0 a 14.

Finalment també es va mesurar la temperatura de l'aigua amb un termòmetre (Figura 53).



Figura 53. Termòmetre, mediador PH, oxímetre i conductímetre. Font pròpia.

Els resultats d'aquestes mesures ven ser els que es mostren en la Gràfica 1.



Gràfica 1. Mesures obtingudes de les variables dependents

A la vista dels resultats obtinguts del paràmetres dependents es va poder observar que les condicions de l'aigua eren les òptimes per a poder realitzar l'experiment sense risc de cap interferència.

7.3.4. Distribució dels caragols escollits

Una vegada es van tenir escollits 90 caragols aptes per sotmetre al tractament, es van repartir aleatòriament dins de tres gàbies diferents, cada una de les quals es dividia en tres compartiments. Dins de cada compartiment hi anaven 10 caragols, per tant, a cada gàbia hi anaven 30 caragols.

Un cop ja s'havien col·locat els caragols a les gàbies, aquestes s'havien de comprovar de manera que no tinguessin cap forat. Un cop es podia assegurar que cap cargol es podria escapar durant el tractament, es segellaven les gàbies amb brides. Tot seguit es lligaven a una corda per poder-les retirar fàcilment al finalitzar el tractament (Figura 54).

Finalment, entre els 90 cargols que es van ficar dins les tres gàbies, hi havia 66 femelles i 24 mascles.

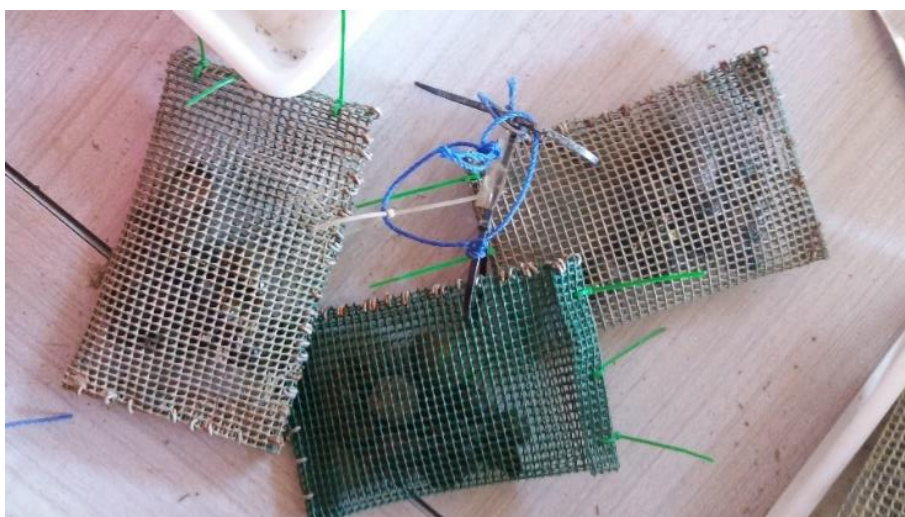


Figura 54. Imatge d'una gàbia amb els seus tres compartiments plens de cargols. Font pròpia.

7.3.5. Preparació del camp per rebre el tractament

Un cop preparades les gàbies, es van traslladar al camp d'arròs infestat situat a la part Sud del Delta, on s'havia d'aplicar el tractament.

Abans de posar les gàbies i aplicar el tractament, s'havien tancat totes les entrades i sortides d'aigua del camp per evitar l'entrada i sortida de caragols al canal principal. Si no s'haguessin tancat, els caragols haurien desembocat al

canal principal, podent arribar d'aquesta manera a tots els camps que tinguessin les entrades d'aigua obertes (Figura 55 i Figura 56).



Figura 55. Canal principal que proporcionava l'aigua al camp infestat. Font pròpia.



Figura 56. Desguàs tancat del camp infestat per evitar l'entrada i sortida de caragols.
Font pròpia.

7.3.6. Aplicació del tractament

Un cop comprovat que els cargols no podrien sortir del camp, es va procedir a aplicar el tractament.

La saponina es portava dissolta en aigua a l'esquena dins unes motxilles de tractaments fitosanitaris per ruixar fàcilment el tractament (Figura 57).



Figura 57. Treballadors amb motxilles fitosanitàries aplicant el tractament. Font pròpia.

7.3.7. Col·locació de les gàbies

Després d'aplicar el tractament al camp, era el moment de llençar les gàbies a l'aigua exposant així els caragols, escollits en els processos explicats anteriorment, a la saponina.

Aquests caragols estarien exposats a la saponina durant 48 hores. Passades aquestes 48 hores, es traurien les gàbies de l'aigua i es comprovarien els resultats.

Per treure les gàbies de sota l'aigua fàcilment al finalitzar les 48 hores, es van lligar les gàbies amb una corda la qual estava unida a un bastó que es va clavar a terra seca (Figura 58).



Figura 58. Gàbies col·locades al desguàs del camp tractat. Font pròpia.

7.3.8. Comptatge de cargols morts.

Passades 48 hores des de la aplicació del tractament, es va tornar al camp a recollir les gàbies i observar els resultats. Només arribar, es podia observar a simple vista que el tractament havia sigut efectiu, ja que mentrestant s'anaven a recollir les gàbies hi havia caragols morts flotant damunt de l'aigua estancada del camp.

Es van anar traient les gàbies una per una, i es van anar anotant els resultats. Es mirava el nombre de caragols morts o sense activitat i els vius, i si eren mascles o femelles.

Per a dur a terme en comptatge es fan anar unes reixetes que faciliten la classificació dels caragols de forma que es pot anar triant entre els mascles i les femelles que van sobreviure o no al tractament. A la part esquerra de les reixetes podem observar els cargols morts, a dalt les femelles i a baix els mascles i a la part dreta els vius, a dalt les femelles i a baix els morts (Figures 59 – 67).



Figura 59. Gàbia 1. Compartiment 1. Font pròpia.



Figura 60. Gàbia 1. Compartiment 2. Font pròpia.



Figura 61. Gàbia 1. Compartiment 3. Font pròpia.



Figura 62. Gàbia 2. Compartiment 1. Font pròpia.



Figura 63. Gàbia 2. Compartiment 2. Font pròpia.



Figura 64. Gàbia 2. Compartiment 3. Font pròpia.



Figura 65. Gàbia 3. Compartiment 1. Font pròpia.



Figura 66. Gàbia 3. Compartiment 2. Font pròpia.

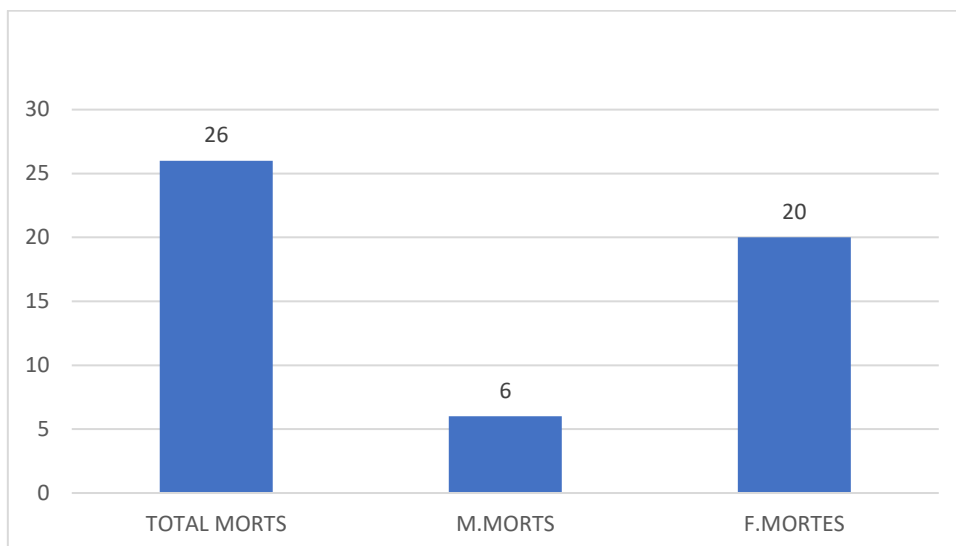


Figura 67. Gàbia 3. Compartiment 3. Font pròpia.

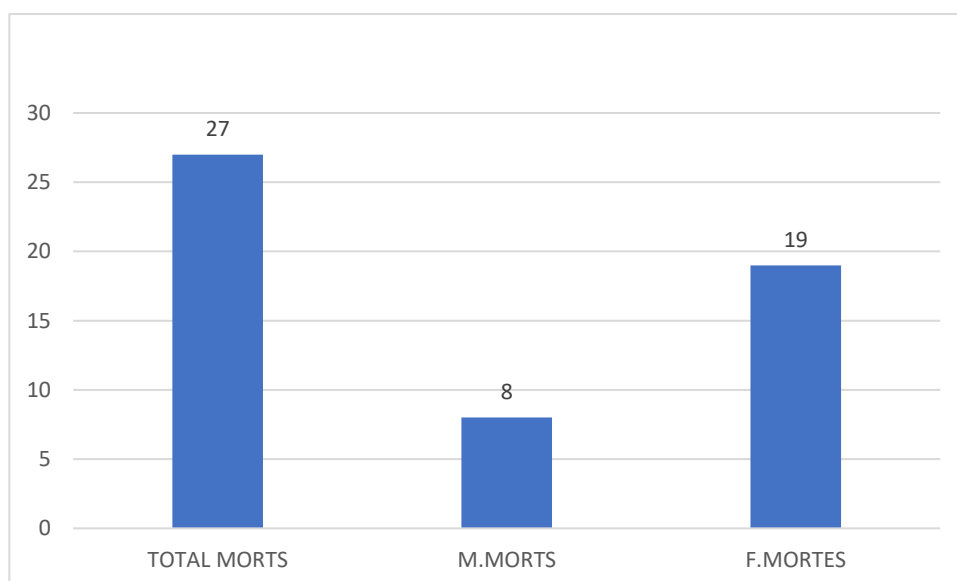
7.4. Resultats

7.4.1. Resultats post 48 hores en saponina

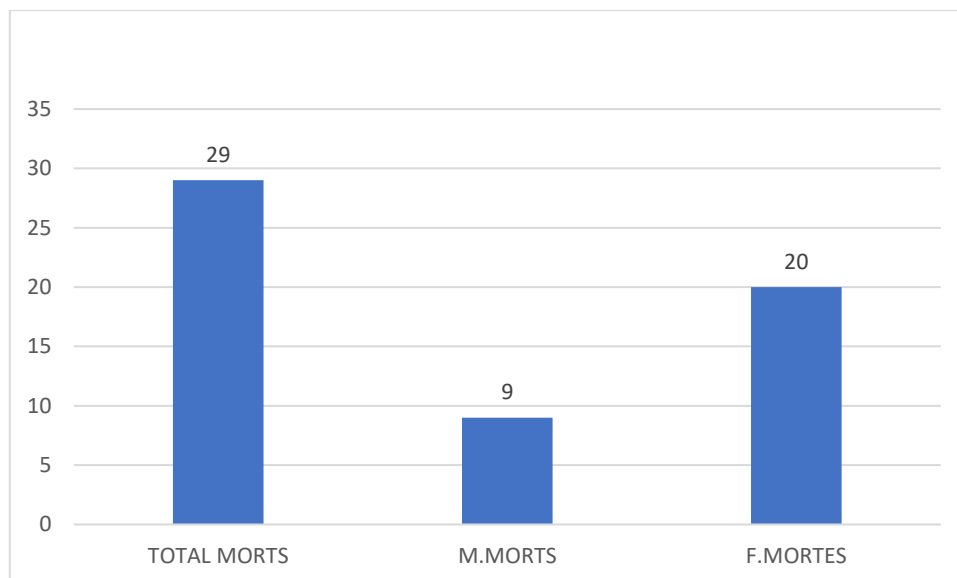
Els resultats en forma de gràfic dels cargols sotmesos al tractament amb saponina durant 48 hores es mostren en les Gràfiques 2 – 4.



Gràfica 2. Cargols morts Gàbia 1



Gràfica 3. Cargols morts Gàbia 2



Gràfica 4. Cargols morts Gàbia 3

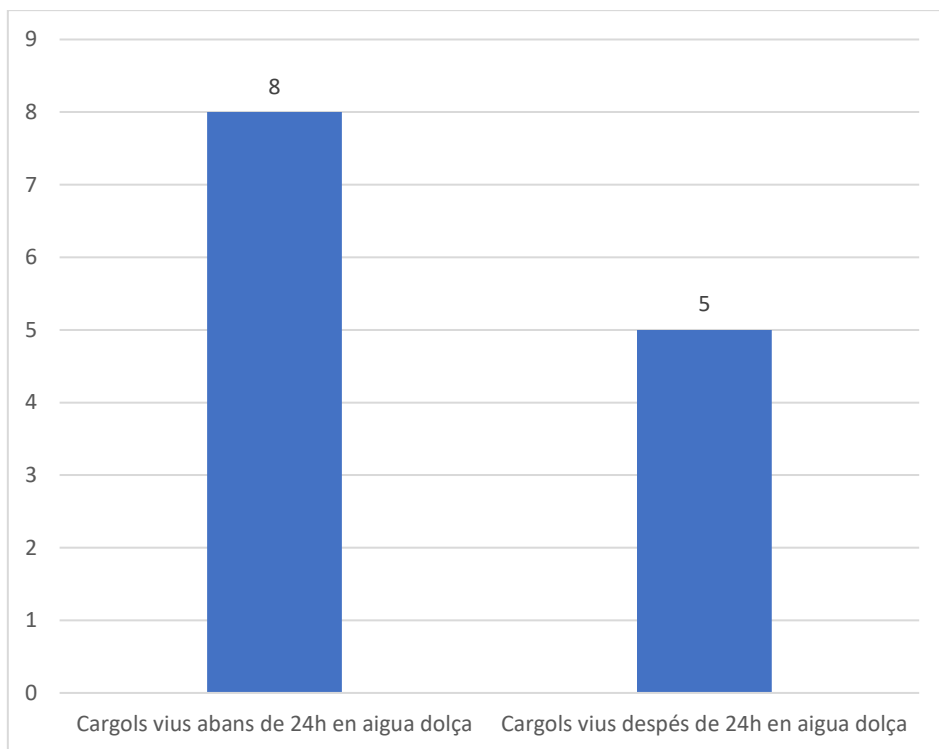
En la Gàbia 1 de 30 cargols en van morir 26, i van quedar vius 3 femelles i 1 mascle. A la Gàbia 2 de 30 cargols en van morir 27, i van quedar vives 3 femelles, i finalment a la Gàbia 3 de 30 cargols van morir-ne 29, i només va quedar viu 1 mascle.

Amb l'obtenció d'aquests resultats es pot observar que el tractament amb la saponina *Camellia oleífera* havia funcionat força be.

7.4.2. Mortalitat post 24 hores estabulació-reanimació

Els cargols que van aconseguir sobreviure a les 48 hores sotmesos al tractament de saponina es van introduir en un recipient d'aigua dolça i es van deixar en repòs 24 hores més. Aquest procés es va fer per veure si aquests caragols aconseguirien recuperar-se del tractament, o finalment moririen.

Els resultats d'aquest procediment es mostren en la Gràfica 5.



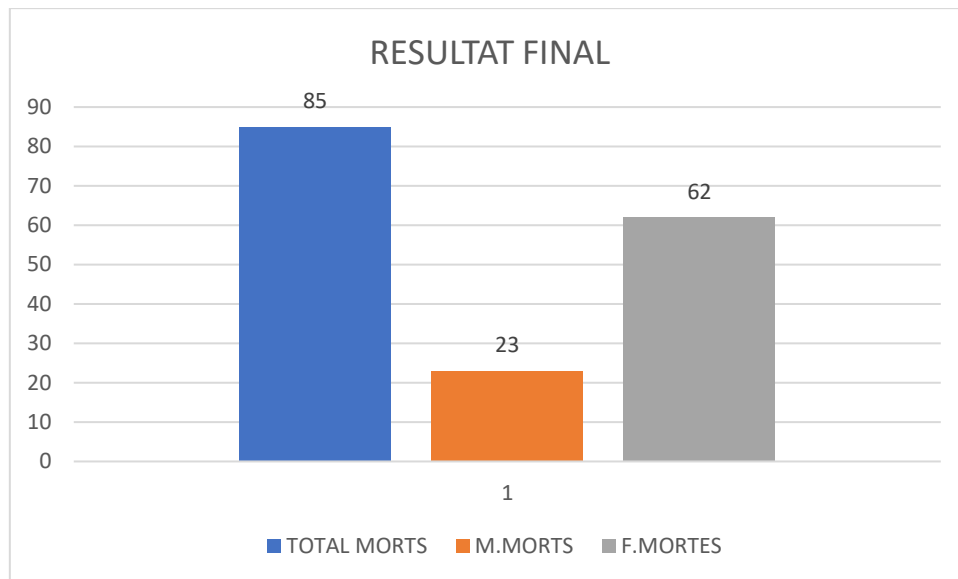
Gràfica 5. Supervivència dels cargols a 24h després del tractament

A la gàbia 1 de les 3 femelles i el mascle que van sobreviure a la saponina, després de 24 hores en aigua dolça va morir 1 de les femelles. A la gàbia 2, de les 3 femelles que van sobreviure a la saponina, després de les 24 hores en aigua dolça va morir 1 de les tres. Finalment a la gàbia 3, la única femella que va sobreviure a la saponina, va morir després de 24 hores en aigua dolça.

7.4.3. Resultats finals

Per tant, després de 48 hores exposats a la saponina i 24 hores en repòs en aigua dolça (els que van aguantar les 48 en saponina), podem obtenir el gràfic total de cargols morts a causa del producte que es volia testar (Gràfica 6).

Per fer el gràfic següent de resultats finals s'han tingut en compte els cargols que van morir durant el tractament i els que van morir més tard en aigua dolça.



Gràfica 6. Cargols morts totals

Si fem el percentatge d'efectivitat total, en mascles i finalment en femelles seria:

% efectivitat total = $85/90 \times 100 = 94.4\%$ **d'efectivitat total**

% mascles = $23/24 \times 100 = 95.83\%$ **d'efectivitat en mascles**

% femelles = $62/66 \times 100 = 93.93\%$ **d'efectivitat en femelles**

7.5. Conclusions de la part pràctica

Després d'haver fet aquesta part practica, es pot afirmar que la saponina *Camellia oleífera* és un producte molt eficaç per combatre el cargol poma, ja que amb els resultats obtinguts en aquest treball es pot dir que és eficaç en un 94.4%.

Tot i això, no és un producte que seria capaç d'eradicar el cargol poma del Delta, sinó que només serviria per reduir la població de caragol poma dins dels camps d'arròs. De manera que els arrossaires notessin de forma molt lleugera la presència del caragol poma a l'hora de collir l'arròs.

8. Conclusions generals del treball

Després d'haver fet aquest treball, es pot veure clarament que actualment les espècies invasores que trobem al Delta de l'Ebre tenen greus conseqüències tant mediambientals com econòmiques. També s'ha pogut observar que les principals espècies invasores que afecten el Delta actualment són; el morrut de les palmeres, el cranc de riu americà, el musclo zebra i el cargol poma.

Pel que fa al morrut, s'ha pogut contrastar que té greus conseqüències mediambientals ja que està deixant tota la costa mediterrània sense palmeres, a part, els tractaments per evitar que es mengin les palmeres són excessivament cars, de manera que no tothom se'ls pot permetre.

Respecte el cranc de riu americà, s'ha pogut veure que és un crustaci que està creixent en nombre de forma descontrolada, desplaçant d'aquesta manera al cranc de riu autòcton del Delta. A part d'això també té conseqüències econòmiques per els arrossaires, ja que fan malbé els murs que separen els camps d'arròs.

Finalment el musclo zebra i el cargol poma, són dos mol·luscs que s'estan expandint de forma descontrolada, causant així conseqüències econòmiques molt negatives, per a indústries i agricultors, molt greus.

Amb aquest treball, s'ha pogut observar el grau de gravetat en el que es troben les espècies invasores que hi ha dins del nostre territori a causa de les conseqüències econòmiques i mediambientals que provoquen.

També he pogut observar com la Generalitat intenta combatre els problemes que causen i el complicat que és gràcies a que el Departament d'Agricultura i Ramaderia d'Amposta em va deixar participar en el seu projecte per combatre el caragol poma.

De la part pràctica es pot concloure que una de les substàncies que els investigadors estan provant al Delta de l'Ebre per tal de mantenir la població del cargol poma en uns límits adequats dins dels camps, la saponina *Camellia oleífera*, pot ser una bona elecció donada la seva elevada efectivitat, al voltant del 90%.

9. Referències

- Roura-Pascual, Núria. Elements per a una estratègia de gestió de les espècies exòtiques invasores. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. 2011.
- <https://cienciaybiologia.com/especies-invasoras/>
- https://ca.wikipedia.org/wiki/Esp%C3%A8cie_invasora
- Departament de Territori i Sostenibilitat. Secció de Medi ambient (http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/patrimoni_natural/especies_exotiques_invasores/)
- <http://www.biopedia.com/especie-invasora/>
- <https://cienciaybiologia.com/especies-invasoras/>
- https://ca.wikipedia.org/wiki/Esp%C3%A8cie_invasora
- <http://www.ebre.com/parc-natural-del-delta-de-l-ebre/>
- <https://sites.google.com/site/formaciodeltaiproblemesaldelta/els-problemes-al-delta-de-l-ebre/les-especies-invasores-del-delta>
- <http://www.accioecologista-agro.org/spip.php?article118>
- http://www.conselldeivissa.es/portal/p_20_contenedor1.jsp?codbusqueda=512&codMenu=761&codMenuCN=766&seccion=s_fdes_d4_v2.jsp&codMenuSN=523&language=es
- https://ca.wikipedia.org/wiki/Palmera_can%C3%A0ria
- <http://www.palmerasyjardines.com/index.php/es/informacion/articulos-de-interes/details/87/23-una-muerte-anunciada-rhynchophorus-ferrugineus-vs-phoenix-canariensis>
- <http://fichas.infojardin.com/palmeras/phoenix-dactylifera-palmera-datilera-fenix-palma-comun-datilero.htm>
- <http://www.sospalm.com/es/productos/>
- http://www.santquirzevalles.cat/DetallNoticia/_CR1bHNtBU9DLTRiyiCrCY1HrWNB6f0Snc-lcmcut018
- <https://sites.google.com/site/controlbecut/plagues-i-malalties-de-la-palmera/becut>
- <http://www.todohuertoyjardin.es/blog/como-combatir-el-picudo-de-las-palmeras>

- <http://www.ambientalia.es/es/actualidad/12-actualidad/126-campana-de-tratamiento-del-picudo-rojo-de-las-pal>
- http://www.lasalle.cat/lasallehorta/naturals/disseccio_procambus/disseccio_procambus.htm
- <https://blocs.mesvilaweb.cat/xafumi/?p=267879>
- http://animaldiversity.org/accounts/Procambarus_clarkii/
- [-http://dibapn.orex.es/documents_diba/p04d014.pdf](http://dibapn.orex.es/documents_diba/p04d014.pdf)
- https://es.wikipedia.org/wiki/Pesca_el%C3%A9ctrica#/media/File:Anglers_using_backpack_electroshocker_to_capture_fish.jpg
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Saponina>
- <https://ca.wikipedia.org/wiki/Mol%C2%B7lusc>
- <http://www.xtec.cat/~ccosta25/molluscs.htm>
- <http://www.xtec.cat/~malos/Moluscs/introduccio/introduccio.htm>
- <http://applesnail.net/>
- http://agricultura.gencat.cat/web/.content/ag_agricultura/ag02_sanitat_vegetal/ag02_02_plagues/documents/fitxers-binaris/protocol-seguir-aplicadors-saponines-combatre-plaga-cargol-poma.pdf
- <http://unproblemadebanyes.blogspot.com.es/p/dissiminacio.html>
- <https://ca.wikipedia.org/wiki/Mol%C2%B7lusc>
- <http://www.xtec.cat/~ccosta25/molluscs.htm>
- <http://www.xtec.cat/~malos/Moluscs/introduccio/introduccio.htm>
- http://acaweb.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1230354461208201714706
- http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/patrimoni_natural/especies_exotiques_invasores/gestio_fauna_invasora/musclo_zebra/
- https://people.uwec.edu/piercech/zebra/index_files/Page418.htm
- <https://australianmuseum.net.au/what-is-plankton>
- http://www.biokids.umich.edu/critters/Dreissena_polymorpha/

10. Annexes

Annex 1. Les palmeres afectades pel morrut i el passaport fitosanitari CE

Les palmeres afectades pel morrut de les palmeres són la *Phoenix canariensis* i la *Phoenix dactylifera*, les quals es descriuen a continuació:

Phoenix canariensis

La palmera canària (*Phoenix canariensis*) és una espècie de palmera autòctona de les Illes Canàries. A causa de la seva bellesa i facilitat d'adaptació és una de les palmeres que més s'utilitzen en jardineria.

Presenta un tronc alt i estilitzat acabat en una corona de moltes fulles. L'alçada mitjana d'aquestes palmeres se situa a 15 metres, però generalment més baixes depenent de l'edat, encara que en les illes d'origen hi ha casos d'exemplars que arriben els 40 m. Tronc relativament prim, encara que pot arribar al metre d'amplada a les seves regions autòctones. La base de les fulles, que queda sobre el tronc cilíndric, formen al seu voltant una coberta grossa i compacta, que oculta el tronc, però amb els anys, les bases de les fulles van caient, perquè s'assequen. Les fulles són d'uns 5 metres de longitud, disposades a l'extrem de dalt del tronc en forma de ventall, són molt nombroses. Són pinnades, de limbe lanceolat, bastant fortes i rígides. D'uns 80-100 parells de folis, relativament curts, pecíol amb curtes espines a la base, que desapareixen progressivament cap amunt, fins a arribar als folis.

Flors unisexuals i separades en diferents individus, plantes per tant dioiques. Inflorescències abundantment ramificades, grans, llargues, de fins a dos metres, que apareixen entre les denses fulles. Les flors són molt petites, de color groc. Fruit ovoide el dàtil d'uns 2 o 3 cm de mida i color groc marronós. Floreix de març a juny.

Produeix dàtils encara que són més petits que els de la palmera datilera africana. Si bé són comestibles, el seu escàs gust provoca que siguin rebutjats. Encara que a l'Illa de La Gomera, se n'extreu el guarapo per produir la Mel de Palma.



Phoenix canariensis ; extret de fotosy jardines.com

Phoenix dactylifera

Aquesta planta pot arribar a tindre uns trenta metres d'altura, tot i que el seu tronc és bastant prim (de vint a trenta centímetres de diàmetre), i tot sovint té brots des del peu, cosa que la diferencia de la palmera canària que prèviament s'ha explicat, amb la que es confon habitualment tot i que normalment té un tronc més gros.

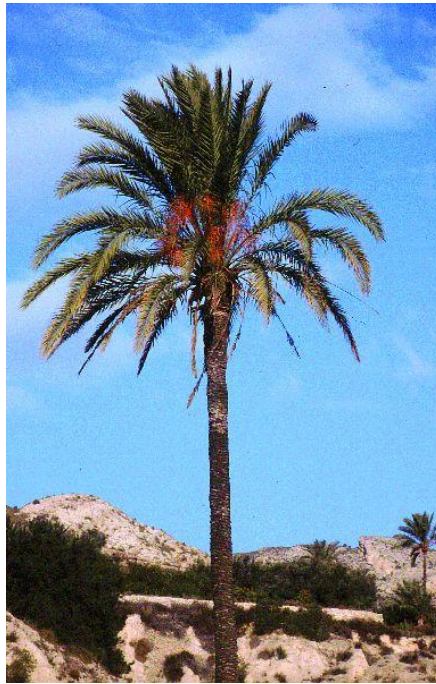
El tronc de la palmera datilera, està cobert amb les bases de les fulles antigues y després queden les seves cicatrius una vegada s'han després.

Les fulles són persistents, coriàcies, arquejades, molt grans i surten a plomall des de la copa a manera de cabellera. Són de color verd blavós o de color verd grisós a diferencia de les de la palmera canària. Tenen una mida de 1 a 5,5 metres de longitud i la seva estructura és pinnada. A cada costat de l'ample eix que travessa la fulla es troben nombrosos segments plegats, rígids i acabats amb punta. N'hi ha de mascles, que produeixen pol·len, i exemplars femella, que després de la fecundació formen fruits. Aquests fruits s'anomenen dàtils, que neixen en raïms a la base de les fulles.

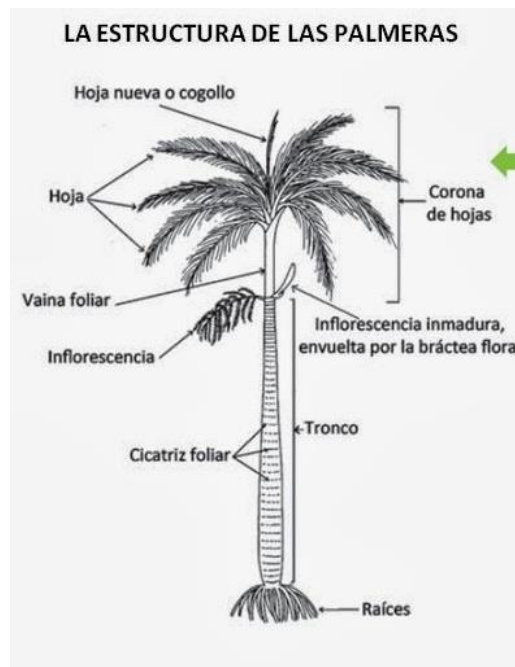
A cada costat del gruix eix es disposen nombrosos segments (pinnes) plegats, rígids i acabats en punta. Hi ha exemplars mascle, que produeixen el pol·len, i exemplars femella, que després de la fecundació formen els fruits (dàtils) que neixen en raïms a la base de les fulles.

Quan són verdes s'assemblen a una gla sense caputxa, però en madurar es fan carnosos, marrons i molt dolços. Tenen un os molt allargat en el seu interior amb un solc longitudinal i, sovint, amb estries transversals.

Creix en zones seques, àrides o subdesèrtiques assolellades i arenoses, amb freqüència en sòls salins, el que indica la presència d'aigua a gran profunditat.



Phoenix dactylifera. Extret de floraprotegida.es.



Anatomia de la palmera. Extret de 3.bp.blogspot.com

Passaport fitosanitari CE:

1. Documento fitosanitario de transporte mencionado en la letra c) del apartado 3 del artículo 1 de la Directiva 2004/103/CE de la Comisión		2. DOCUMENTO FITOSANITARIO DE TRANSPORTE Nº CE/.../... ⁽¹⁾	
3. <u>Identificación del envío</u> ⁽²⁾ — El presente envío contiene productos sensibles desde el punto de vista fitosanitario — Vegetales, productos vegetales u otros objetos (código Taric): Número/s de referencia de los documentos fitosanitarios exigidos: País de expedición: Fecha de expedición: Marca(s) distintivas, números, número de bultos, cantidad (pesos/unidades): Número/s de referencia de la documentación aduanera exigida:			
4. Número de registro oficial del importador: El importador abajo firmante solicita al organismo oficial responsable que realice los controles oficiales de identidad y fitosanitarios de los vegetales, productos vegetales u otros objetos mencionados anteriormente en el lugar de inspección autorizado indicado más abajo y se compromete a respetar las normas y los procedimientos establecidos por el organismo oficial responsable. Fecha, nombre y firma del importador:			
5.1. <u>Punto de entrada:</u>		5.2. Visto bueno del organismo oficial del punto de entrada (fecha, nombre, sello del servicio y firma):	
6. <u>Lugar/es de inspección autorizado(s)</u> ⁽³⁾ A- B- (sustituye a A)			
Los vegetales, productos vegetales u otros objetos se transportan al lugar o lugares de inspección arriba mencionados de conformidad con el acuerdo concluido entre ⁽⁴⁾ :			
El envío no puede transportarse a lugares distintos de los indicados anteriormente a no ser que se haya autorizado oficialmente			
7. Control documental ☐	8. Control de identidad ☐	9. Control fitosanitario ☐	
Lugar/fecha: Nombre: Sello del servicio/firma	Lugar/fecha: Nombre: Sello del servicio/firma	Lugar/fecha: Nombre: Sello del servicio/firma	
10. <u>Decisión:</u> ☐ Aprobado Lugar/fecha: Nombre: Sello del servicio/firma Indíquese, en su caso, el número de pasaporte fitosanitario comunitario (serie, semana o lote): ☐ Medidas oficiales. ☐ Entrada denegada ☐ Destrucción ☐ Transporte fuera de la Comunidad ☐ Periodo de cuarentena ☐ Retirada de los productos infectados/infestados ☐ Tratamiento adecuado Observaciones:			

⁽¹⁾ Indíquese el código/número de país.
⁽²⁾ Rellene la casilla o haga referencia a la información sobre el Certificado fitosanitario que debe adjuntarse.
⁽³⁾ Haga referencia a «C» [letra c) del apartado 2 del artículo 13 *quater* de la Directiva 2000/29/CE] y «D» [letra d) del apartado 2 del artículo 13 *quater* de la Directiva 2000/29/CE].
⁽⁴⁾ En su caso, apórtense detalles sobre el acuerdo entre los servicios oficiales de los Estados miembros, si se trata de un acuerdo en un caso concreto o un acuerdo a más largo plazo.

Annex 2. Currículums i entrevistes a especialistes que han col·laborat en el treball .

1. Sr. Miguel Angel López Robles

1.1. Breu currículum professional

Apellidos: López Robles

Nombre: Miguel Ángel

Situación profesional actual

Organismo: DEPT. D'AGRICULTURA, RAMADERIA, PESCA, ALIMENTACIÓ I MEDI NATURAL. GENERALITAT DE CATALUNYA.

Facultad, Escuela o Instituto: (Empresa pública) FORESTAL CATALANA SA

Dpto./Secc./Unidad estr.: AREA DE BIODIVERSIDAD

Dirección postal: C/Sabino de Arana, 34-35 1º 1ª

08028 BARCELONA

Teléfono (indicar prefijo, número y extensión): 93 411 09 26

Fax:

Líneas de investigación

Breve descripción, por medio de palabras claves, de la especialización y de las líneas de investigación actuales.

Conservación de la fauna acuática continental, Gestión y coordinación de la plaga del caracol manzana (*Pomacea maculata*) en el delta del Ebro.

Formación Académica

Titulación Superior	Fecha	Centro
Licenciatura Ciencias Biológicas	Universidad de Barcelona	1995
Diploma en Estudios Avanzados de Ecología (DEA)	Universidad de Barcelona	2000-2001
Tesis doctoral		Centro

ACTIVIDADES ANTERIORES DE CARÁCTER CIENTÍFICO PROFESIONAL

Puesto	Institución	Fechas
Técnico Superior	Agencia Catalana del Agua	1996-2000
Investigador contratado	IRTA	2001-2008
Técnico Superior	Forestal Catalana	2008-2017

1.2. Entrevista Sr. Miguel Angel López Robles. (25/10/2017)

Enquesta

- Quina creu que és la principal causa de que avui en dia trobem tantes espècies invasores al Delta de l'Ebre?

Hi ha una casuística general, que és la homogeneïtzació biòtica que s'està produint arreu del món amb les activitats humanes. En el cas del delta, es tracta d'un entorn completament humanitzat, i per tant subjecte a activitats que representen riscos d'invasió d'espècies, entre elles, l'Agricultura i l'Aqüicultura.

-Quines creu que haurien de ser les mesures per evitar aquest elevat grau d'espècies invasores?

A nivell estatal i autonòmic hi ha múltiples mesures per a reduir els riscos, principalment mitjançant controls de les importacions a les fronteres, i controlant les activitats econòmiques de risc, així com en la confecció de llistes d'espècies que requereixen control. El principal problema és que la capacitat de control i d'implementació efectiva d'aquestes mesures és insuficient. A nivell local, la detecció temprana de noves espècies és segurament l'activitat més important que es pot fer.

-Creu que s'hauria d'invertir més del que s'ha invertit fins ara en la recerca de mètodes de eliminació d'aquestes espècies?

Sí, és clar.

-Quina creu que és l'espècie invasora que més perjudica el Delta avui en dia?

Almenys pel que fa a l'àmbit agrari i a la percepció dels pagesos, és el caragol poma. Respecte al tema ecològic, segurament no hi ha hagut mai un impacte tan fort sobre el riu Ebre com el que van provocar dos bivalves, el musclo zebra i la cloïssa asiàtica.

-Des del seu departament, quina espècie els hi ha mostrat més resistència a la hora d'evitar la seva invasió?

Crec que les tasques realitzades amb el caragol poma, i l'esforç en el Pla de Lluita no té comparativa amb cap altra espècie, almenys pel que fa al delta de l'Ebre, que de moment és l'únic punt del continent europeu on està present la plaga. A nivell de Catalunya, no et sabria dir amb certesa, si bé en els últims anys hi ha molta preocupació amb el tema de l'entrada de *Xylella fastidiosa* un bacteri que afecta entre altres a les oliveres.

2. Entrevista a Dr. Jesús Avilla (6/12/2017)

2.1. Breu currículum professional

Enginyer Agrònom (1978) i Doctor Enginyer Agrònom (1982) per la Universidad Politécnica de Madrid. Professor de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària (Universitat Politècnica de Catalunya fins a 1992 i Universitat de Lleida des de llavors) des de 1982, on és Catedràtic del Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal des de 1999. Professor Invitat al Wye College de la University of London durant el curs 1984-85.

La seva especialització és el control d'artròpodes plagues en cultius de pinyol i d'ós. Ha treballat en el desenvolupament de programes de control integrat de plagues en aquests cultius des de una visió holística, que ha inclòs la posada a punt de tècniques de control biològic de l'aranya roja dels fruiters, de control etològic (mitjançant confusió sexual) de la carpocapsa de les pomes i de les peres, de detecció i prevenció de la resistència d'insectes a insecticides i de control de la psyll·la de la perera, principalment.

Actualment, imparteix docència al Màster en Protecció Integrada de Cultius de la Universitat de Lleida.

2.2. Entrevista

- Quina creu que és la principal causa de que avui en dia trobem tantes espècies invasores al Delta de l'Ebre?

L'activitat humana, concretada en:

* Importació d'animals per ús domèstic, com podria ser el cas del cargol poma

* Comerç de plantes infestades

-Quines creu que haurien de ser les mesures per evitar aquest elevat grau d'espècies invasores?

* El control més rigorós de les importacions de plantes

* La conscienciació de les persones sobre els perills derivats d'introduir espècies en nous hàbitats

-Creu que s'hauria d'invertir més del que s'ha invertit fins ara en la recerca de mètodes de eliminació d'aquestes espècies?

Crec que els fets demostren que l'eliminació d'una espècies invasora una vegada s'ha establert és molt difícil sinó impossible. Al final, s'han d'adaptar els programes de control de plagues, malalties i males herbes a la nova situació. Per tant, crec que s'hauria d'invertir més en la prevenció de la introducció d'espècies.

-Quina creu que és l'espècie invasora que mes perjudicis causa avui en dia?

No tinc prou dades com per donar una opinió sustentada. En aquests moments, podria ser el cargol poma, però en un futur, és possible que siguin *Xylella fastidiosa* (a l'olivera) i el *Huanglongbing* (als cítrics).

-Des del seu departament, quina espècie els hi ha mostrat més resistència a la hora de evitar la seva invasió?

He treballat sempre en plagues de cultius fruiters a la zona de Lleida. En aquests cultius, la plaga invasora més important recentment ha estat la mosca *Drosophila Suzuki*.

Annex 3. Recerca científica actual referent al Cargol Poma

La **Web of Science** és una plataforma basada en tecnologia web que recull les referències de les principals publicacions científiques de qualsevol disciplina del coneixement, tant científic com tecnològic, humanístic i sociològics des de 1945, essencials per al suport a la investigació i per al reconeixement dels esforços i avenços realitzats per la comunitat científica i tecnològica (<https://www.fecyt.es/es/recurso/web-science>).

A través dels contactes fets amb investigadors de la Universitat de Lleida, es va procedir a fer una cerca simple amb les paraules clau “*Pomacea maculata*” per tal de tenir una aproximació de la recerca feta fins a la data referent a aquesta espècie de Cargol Poma a nivell internacional.

El cercador va localitzar 42 articles científics que contenen aquest nom. Aquest fet indica que hi ha molt poca recerca feta sobre el Cargol Poma del Delta, essent l'article científic més antic del 2004, fet que a més ens indica que és una recerca molt recent.

D'aquests articles s'ha seleccionat un per a ser estudiat amb més detall, en ser un dels més citats, fins a 34 vegades, i per tant considerat com un referent pels mateixos científics (*Finbarr G.H. et al. Impact of invasive apple snails on the functioning and services of natural and managed wetlands. Acta Oecologica 54 (2014) 90-100*).

Com es pot observar en el resum d'aquest article de l'any 2014, *Pomacea maculata* està considerat un dels dos cargols poma que causa més impacte en els ecosistemes d'aiguamolls, així com en els cultius submergits, com ara l'arròs, fet que implica a més a més grans despeses econòmiques en l'ús de musclícides. Una altra conclusió és que hi ha fins a la data una gran manca

d'experiments que permetin avançar en l'obtenció de dades objectives que permetin combatre aquestes plagues.

Web of Science

Search

Select a database: Web of Science Core Collection

Basic Search

Pomacea maculata

Search

Timespan: All years

From 1900 to 2017

MORE SETTINGS

Web of Science

Search

Results: 42 (from Web of Science Core Collection)

You searched for: TOPIC: (Pomacea maculata) ...More

Create Alert

Refine Results

Search within results for...

Publication Years

2016 (15)

2017 (10)

2015 (5)

2014 (4)

2013 (4)

more options / values...

Refine

Web of Science Categories

ECOLOGY (14)

MARINE FRESHWATER BIOLOGY (12)

BIODIVERSITY CONSERVATION (10)

ZOOLOGY (7)

FISHERIES (4)

more options / values...

Refine

Document Types

Sort by: Publication Date -- newest to oldest

Page 1 of 5

Select Page

5K

Save to EndNote online

Add to Marked List

Create Citation Report

Analyze Results

1. Dispersal and local environment affect the spread of an invasive apple snail (**Pomacea maculata**) in Florida, USA

By: Pierre, Steffan M.; Quintana-Ascencio, Pedro F.; Boughton, Elizabeth H.; et al.

BIOLOGICAL INVASIONS Volume: 19 Issue: 9 Pages: 2647-2661 Published: SEP 2017

Consult a full text

View Abstract

Times Cited: 0 (from Web of Science Core Collection)

Usage Count

2. Life history traits determine the differential vulnerability of native and invasive apple snails (**Pomacea** spp.) to a shared juvenile-stage predator

By: Davidson, Andrew T.; Dorn, Nathan J.

AQUATIC ECOLOGY Volume: 51 Issue: 3 Pages: 331-341 Published: SEP 2017

Consult a full text

View Abstract

Times Cited: 0 (from Web of Science Core Collection)

Usage Count

3. The estimation of growth dynamics for **Pomacea maculata** from hatching to adult

By: Sutton, Karyn L.; Zhao, Lihong; Carter, Jacoby

ECOSPHERE Volume: 8 Issue: 7 Article Number: e01840 Published: JUL 2017

Consult a full text

View Abstract

Times Cited: 0 (from Web of Science Core Collection)

Usage Count

4. Survival, recovery, and reproduction of apple snails (**Pomacea** spp.) following exposure to drought conditions

By: Glasheen, Paul M.; Calvo, Clementina; Meerhoff, Mariana; et al.

FRESHWATER SCIENCE Volume: 36 Issue: 2 Pages: 316-324 Published: JUN 2017

Consult a full text

View Abstract

Times Cited: 0 (from Web of Science Core Collection)

Usage Count

5. Interactions of exotic and native **Pomacea** with wetland vegetation structure in the Greater Everglades, Florida, USA

By: Monette, Dean; Ewe, Sharon; Dinkins, John M.; et al.

FUNDAMENTAL AND APPLIED LIMNOLOGY Volume: 189 Issue: 4 Pages: 291-299 Published: MAR 2017

Consult a full text

View Abstract

Times Cited: 0 (from Web of Science Core Collection)

Usage Count

m/Search.do?product=WOS&SID=R18n9vfhHJRRW9WO9c&search_mode=GeneralSearch&prID=770aadae-ed04-4b47-8 80% Cerca

☐ ARTICLE (38)
☐ MEETING ABSTRACT (2)
☐ REVIEW (1)
☐ CORRECTION (1)
[more options / values...](#)

Refine

Organizations-Enhanced
☐ STATE UNIVERSITY SYSTEM OF FLORIDA (10)
☐ UNIVERSITY OF LOUISIANA LAFAYETTE (5)
☐ UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (5)
☐ FLORIDA ATLANTIC UNIVERSITY (5)
☐ CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS CONICET (4)
[more options / values...](#)

Refine

Funding Agencies

Open Access

Authors

View all options

For advanced refine options, use

Analyze Results

☐ 6. **Aestivation in the apple snail *Pomacea maculata***
 By: Mueck, K.
 Conference: Annual Meeting of the Society-for-Integrative-and-Comparative-Biology (SICB) Location: New Orleans, LA
 Date: JAN 04-08, 2017
 Sponsor(s): Soc Integrat & Comparat Biol
 INTEGRATIVE AND COMPARATIVE BIOLOGY Volume: 57 Supplement: 1 Pages: E356-E356 Meeting
 Abstract: 27-6 Published: MAR 2017
 Consultar

Times Cited: 0
 (from Web of Science Core Collection)
 Usage Count

☐ 7. **Development and Evaluation of Poly Herbal Molluscicidal Extracts for Control of Apple Snail (*Pomacea maculata*)**
 By: Prabhakaran, Guruswamy; Bhore, Subhash Janardhan; Ravichandran, Manikam
 AGRICULTURE-BASEL Volume: 7 Issue: 3 Article Number: 22 Published: MAR 2017
 Consultar View Abstract

Times Cited: 0
 (from Web of Science Core Collection)
 Usage Count

☐ 8. **An integrated proteomic and transcriptomic analysis of perivitelline fluid proteins in a freshwater gastropod laying aerial eggs**
 By: Mu, Huawei; Sun, Jin; Heras, Horacio; et al.
 JOURNAL OF PROTEOMICS Volume: 155 Pages: 22-30 Published: FEB 23 2017
 Consultar View Abstract

Times Cited: 0
 (from Web of Science Core Collection)
 Usage Count

☐ 9. **Freshwater mollusks and environmental assessment of Guandu River, Rio de Janeiro, Brazil**
 By: Miyahira, Igor Christo; Carneiro, Jessica Beck; Brito Goncalves, Isabela Cristina; et al.
 BIOTA NEOTROPICA Volume: 17 Issue: 3 Article Number: e20170342 Published: 2017
 Consultar View Abstract

Times Cited: 0
 (from Web of Science Core Collection)
 Usage Count

☐ 10. **Effects of silicon soil amendments and nitrogen fertilizer on apple snail (*Ampullariidae*) damage to rice seedlings**
 By: Horgan, Finbarr G.; Palenzuela, Alvaro Noguez; Stuart, Alexander M.; et al.
 CROP PROTECTION Volume: 91 Pages: 123-131 Published: JAN 2017
 Consultar View Abstract

Times Cited: 1
 (from Web of Science Core Collection)
 Usage Count

☐ Select Page Save to EndNote online Add to Marked List

Sort by: Publication Date -- newest to oldest Show: 10 per page Page 1 of 5

42 records matched your query of the 65,492,241 in the data limits you selected.
 Key: = Structure available.

m/summary.do?product=WOS&parentProduct=WOS&search_mode=GeneralSearch&parentQId=&qId=2&SID=R18n9vfhHt 80% Cerca

Web of Science
 Search My Tools Search History Marked List

Results: 42
 (from Web of Science Core Collection)
 You searched for: TOPIC: (*Pomacea maculata*) ...More
 Create Alert

Refine Results
 Search within results for...

Publication Years
☐ 2016 (15)
☐ 2017 (10)
☐ 2015 (5)
☐ 2014 (4)
☐ 2013 (4)
[more options / values...](#)

Refine

Web of Science Categories
☐ ECOLOGY (14)
☐ MARINE FRESHWATER BIOLOGY (12)
☐ BIODIVERSITY CONSERVATION (10)
☐ ZOOLOGY (7)
☐ FISHERIES (4)
[more options / values...](#)

Refine

Document Types

Sort by: Publication Date -- newest to oldest Page 2 of 5

☐ Select Page Save to EndNote online Add to Marked List

☐ 11. **ABIOTIC TOLERANCES IN DIFFERENT LIFE STAGES OF APPLE SNAILS *POMACEA CANALICULATA* AND *POMACEA MACULATA* AND THE IMPLICATIONS FOR DISTRIBUTION**
 By: Bernatis, Jennifer L.; McGaw, Iain J.; Cross, Chad L.
 JOURNAL OF SHELLFISH RESEARCH Volume: 35 Issue: 4 Pages: 1013-1025 Published: DEC 2016
 Consultar View Abstract

Times Cited: 0
 (from Web of Science Core Collection)
 Usage Count

☐ 12. **Effects of the Consumption Behavior of Adult *Pomacea maculata* and *Pomacea paludosa* on *Vallisneria americana***
 By: Monette, Dean; Ewe, Sharon; Markwith, Scott H.
 SOUTHEASTERN NATURALIST Volume: 15 Issue: 4 Pages: 689-696 Published: DEC 2016
 Consultar View Abstract

Times Cited: 0
 (from Web of Science Core Collection)
 Usage Count

☐ 13. **Assessing the Value of Novel Habitats to Snail Kites through Foraging Behavior and Nest Survival**
 By: Pias, Kyle E.; Fletcher, Robert J., Jr.; Kitchens, Wiley M.
 JOURNAL OF FISH AND WILDLIFE MANAGEMENT Volume: 7 Issue: 2 Pages: 449-460 Published: DEC 2016
 Consultar View Abstract

Times Cited: 0
 (from Web of Science Core Collection)
 Usage Count

☐ 14. **Eleven microsatellite loci for two invasive freshwater apple snails, *Pomacea canaliculata* and *P-maculata* (*Ampullariidae*)**
 By: Matsukura, Keiichiro; Hayes, Kenneth A.; Cowie, Robert H.
 BIOLOGICAL INVASIONS Volume: 18 Issue: 12 Pages: 3397-3400 Published: DEC 2016
 Consultar View Abstract

Times Cited: 0
 (from Web of Science Core Collection)
 Usage Count

☐ 15. **Experimental Test of Preferences for an Invasive Prey by an Endangered Predator: Implications for Conservation**
 By: Wilcox, Rebecca C.; Fletcher, Robert J., Jr.
 PLOS ONE Volume: 11 Issue: 11 Article Number: e0165427 Published: NOV 9 2016
 Consultar View Abstract

Times Cited: 1
 (from Web of Science Core Collection)
 Usage Count

Create Citation Report
 Analyze Results

on/summary.do?product=WOS&parentProduct=WOS&search_mode=GeneralSearch&parentQid=&qid=2&SID=R18n9vfhHt 80% Cerca

☐ ARTICLE (38)
☐ MEETING ABSTRACT (2)
☐ REVIEW (1)
☐ CORRECTION (1)
[more options / values...](#)
Refine

Organizations-Enhanced
☐ STATE UNIVERSITY SYSTEM OF FLORIDA (10)
☐ UNIVERSITY OF LOUISIANA LAFAYETTE (5)
☐ UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (5)
☐ FLORIDA ATLANTIC UNIVERSITY (5)
☐ CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS CONICET (4)
[more options / values...](#)
Refine

Funding Agencies
Open Access
Authors
View all options
[For advanced refine options, use](#)
Analyze Results

☐ 16. **The eggs of the apple snail *Pomacea maculata* are defended by indigestible polysaccharides and toxic proteins**
 By: Giglio, M. L.; Ituarte, S.; Pasquevich, M. Y.; et al.
 CANADIAN JOURNAL OF ZOOLOGY Volume: 94 Issue: 11 Pages: 777-785 Published: NOV 2016
☐ Consultar **View Abstract**

☐ 17. **Counteracting effects of a non-native prey on the demography of a native predator culminate in positive population growth**
 By: Cattau, Christopher E.; Fletcher, Robert J., Jr.; Reichert, Brian E.; et al.
 ECOLOGICAL APPLICATIONS Volume: 26 Issue: 7 Pages: 1952-1968 Published: OCT 2016
☐ Consultar **View Abstract**

☐ 18. **PHYSIOLOGY OF THE INVASIVE APPLE SNAIL *POMACEA MACULATA*: TOLERANCE TO LOW TEMPERATURES (vol 35, pg 207, 2016)**
 By: Deaton, Lewis E.; Schmidt, William; Leblanc, Brody; et al.
 JOURNAL OF SHELLFISH RESEARCH Volume: 35 Issue: 2 Pages: 577-577 Published: AUG 2016
☐ Consultar **View Abstract**

☐ 19. **Foes can be Friends: Laboratory Trials on Invasive Apple Snails, *Pomacea* spp. Preference to Invasive Weed, *Limnorcharis flava* (L.) Buchenau Compared to Rice, *Oryza sativa* L.**
 By: Gilal, Arfan Ahmed; Muhammad, Rita; Omar, Dzulkhiffi; et al.
 PAKISTAN JOURNAL OF ZOOLOGY Volume: 48 Issue: 3 Pages: 673-679 Published: JUN 2016
☐ Consultar **View Abstract**

☐ 20. **PHYSIOLOGY OF THE INVASIVE APPLE SNAIL *POMACEA MACULATA*: TOLERANCE TO LOW TEMPERATURES**
 By: Deaton, Lewis E.; Schmidt, William; Leblanc, Brody; et al.
 JOURNAL OF SHELLFISH RESEARCH Volume: 35 Issue: 1 Pages: 207-210 Published: APR 2016
☐ Consultar **View Abstract**

☐ Select Page ☐ 5K **Add to Marked List**

Sort by: Publication Date -- newest to oldest Show: 10 per page Page 2 of 5

on/summary.do?product=WOS&parentProduct=WOS&search_mode=GeneralSearch&parentQid=&qid=2&SID=R18n9vfhHt 80% Cerca

Results: 42
 (from Web of Science Core Collection)
 You searched for: TOPIC:
 (Pomacea maculata) ...More

Refine Results

Publication Years
☐ 2016 (15)
☐ 2017 (10)
☐ 2015 (5)
☐ 2014 (4)
☐ 2013 (4)
[more options / values...](#)
Refine

Web of Science Categories
☐ ECOLOGY (14)
☐ MARINE FRESHWATER BIOLOGY (12)
☐ BIODIVERSITY CONSERVATION (10)
☐ ZOOLOGY (7)
☐ FISHERIES (4)
[more options / values...](#)
Refine

Document Types

☐ Select Page ☐ 5K **Add to Marked List** **Create Citation Report**
Analyze Results

☐ 21. **ALTERNATE FOOD-CHAIN TRANSFER OF THE TOXIN LINKED TO AVIAN VACUOLAR MYELINOPATHY AND IMPLICATIONS FOR THE ENDANGERED FLORIDA SNAIL KITE (ROSTRHAMUS SOCIABILIS)**
 By: Dodd, Shelley R.; Haynie, Rebecca S.; Williams, Susan M.; et al.
 JOURNAL OF WILDLIFE DISEASES Volume: 52 Issue: 2 Pages: 335-344 Published: APR 2016
☐ Consultar **View Abstract**

☐ 22. **A Pilot Study Testing a Natural and a Synthetic Molluscicide for Controlling Invasive Apple Snails (*Pomacea maculata*)**
 By: Olivier, Heather M.; Jenkins, Jill A.; Berhow, Mark; et al.
 BULLETIN OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION AND TOXICOLOGY Volume: 96 Issue: 3 Pages: 289-294 Published: MAR 2016
☐ Consultar **View Abstract**

☐ 23. **The mitochondrial genome of *Pomacea maculata* (Gastropoda: Ampullariidae)**
 By: Yang, Qianqian; Liu, Suwen; Song, Fan; et al.
 MITOCHONDRIAL DNA PART A Volume: 27 Issue: 4 Pages: 2895-2896 Published: 2016
☐ Consultar **View Abstract**

☐ 24. **Native crayfish consume more non-native than native apple snails**
 By: Dorn, Nathan J.; Hafsadi, Melani
 BIOLOGICAL INVASIONS Volume: 18 Issue: 1 Pages: 159-167 Published: JAN 2016
☐ Consultar **View Abstract**

☐ 25. **Cold tolerance of invasive freshwater snails, *Pomacea canaliculata*, *P. maculata*, and their hybrids helps explain their different distributions**
 By: Matsukura, Keiichiro; Izumi, Yohei; Yoshida, Kazuhiro; et al.
 FRESHWATER BIOLOGY Volume: 61 Issue: 1 Pages: 80-87 Published: JAN 2016
☐ Consultar **View Abstract**

☐ Select Page ☐ 5K **Add to Marked List** **Create Citation Report**
Analyze Results

Sort by: Publication Date -- newest to oldest Page 3 of 5

Summary of search results for **Pomacea maculata** and **Pomacea canaliculata** on rice.

Search criteria: **General Search** (Parent Qid: &qid=2&SID=R18n9vfhHt)

Results (42 items):

- 26. COMPARATIVE LIFE CYCLE STUDIES OF *Pomacea Maculata* AND *Pomacea Canaliculata* ON RICE (*Oryza sativa*)**
By: Arfan, A. G.; Muhamad, R.; Omar, D.; et al.
PAKISTAN JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES Volume: 52 Issue: 4 Pages: 1079-1083 Published: DEC 2015
Times Cited: 0 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count
- 27. *Pomacea maculata* (Island Apple Snail) Invasion in Seasonal Wetlands on Florida Ranchland: Association with Plant-Community Structure and Aquatic-Predator Abundance**
By: Smith, Colleen; Boughton, Elizabeth H.; Pierre, Steffan
SOUTHEASTERN NATURALIST Volume: 14 Issue: 3 Pages: 561-576 Published: SEP 2015
Times Cited: 2 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count
- 28. CARBOHYDRASE ACTIVITY IN THE DIGESTIVE GLANDS OF TWO FRESHWATER MOLLUSCS: *POMACEA MACULATA* AND *MARGARITIFERA HEMBELI***
By: Deaton, Lewis
JOURNAL OF SHELLFISH RESEARCH Volume: 34 Issue: 2 Pages: 624-624 Published: AUG 2015
Times Cited: 0 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count
- 29. Experimental test of the Invasional Meltdown Hypothesis: an exotic herbivore facilitates an exotic plant, but the plant does not reciprocally facilitate the herbivore**
By: Meza-Lopez, Maria M.; Siemann, Evan
FRESHWATER BIOLOGY Volume: 60 Issue: 7 Pages: 1475-1482 Published: JUL 2015
Times Cited: 4 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count
- 30. THE APPLE SNAIL *POMACEA MACULATA* (CAENOASTROPODA: AMPULLARIIDAE) AS THE INTERMEDIATE HOST OF STOMYLOTREMA GRATIOSUS (TREMATODA: STOMYLOTREMATIDAE) IN BRAZIL: THE FIRST REPORT OF A MOLLUSC HOST OF A STOMYLOTREMATID TREMATODE**
By: Pinto, Hudson A.; Cantanhede, Selma Patricia D.; Thiengo, Silvana C.; et al.
JOURNAL OF PARASITOLOGY Volume: 101 Issue: 2 Pages: 134-139 Published: APR 2015
Times Cited: 0 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count

Sort by: Publication Date -- newest to oldest Show: 10 per page Page 3 of 5

Search results for **Pomacea maculata** and **Pomacea canaliculata** on rice.

Search criteria: **General Search** (Parent Qid: &qid=2&SID=R18n9vfhHt)

Results (42 items):

- 31. Tolerance of embryos and hatchlings of the invasive apple snail *Pomacea maculata* to estuarine conditions**
By: Martin, Charles W.; Valentine, John F.
AQUATIC ECOLOGY Volume: 48 Issue: 3 Pages: 321-326 Published: SEP 2014
Times Cited: 1 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count
- 32. The major egg reserve protein from the invasive apple snail *Pomacea maculata* is a complex carotenoprotein related to those of *Pomacea canaliculata* and *Pomacea scalaris***
By: Pasquevich, M. Y.; Dreon, M. S.; Heras, H.
COMPARATIVE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY B-BIOCHEMISTRY & MOLECULAR BIOLOGY Volume: 169 Pages: 63-71 Published: MAR 2014
Times Cited: 3 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count
- 33. TOLERANCE TO LOW TEMPERATURE AND DESICCATION IN TWO INVASIVE APPLE SNAILS, *POMACEA CANALICULATA* AND *P. MACULATA* (CAENOASTROPODA: AMPULLARIIDAE), COLLECTED IN THEIR ORIGINAL DISTRIBUTION AREA (NORTHERN AND CENTRAL ARGENTINA)**
By: Yoshida, Kazuhiro; Matsukura, Keiichi; Cazzaniga, Nestor J.; et al.
JOURNAL OF MOLLUSCAN STUDIES Volume: 80 Pages: 62-65 Part: 1 Published: FEB 2014
Times Cited: 6 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count
- 34. Impact of invasive apple snails on the functioning and services of natural and managed wetlands**
By: Horgan, Finbarr G.; Stuart, Alexander M.; Kudavidanage, Enoka P.
ACTA OECOLOGICA-INTERNATIONAL JOURNAL OF ECOLOGY Volume: 54 Special Issue: SI Pages: 90-100 Published: JAN 2014
Times Cited: 34 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count
- 35. The presence of an exotic snail, *Pomacea maculata*, inhibits growth of juvenile Florida apple snails, *Pomacea paludosa***
By: Posch, Helen; Garr, Amber L.; Reynolds, Emily
JOURNAL OF MOLLUSCAN STUDIES Volume: 79 Pages: 383-385 Part: 4 Published: NOV 2013
Times Cited: 4 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count

Sort by: Publication Date -- newest to oldest Show: 10 per page Page 4 of 5

om/summary.do?product=WOS&parentProduct=WOS&search_mode=GeneralSearch&parentQid=&qid=2&SID=R18n9vfHt 80% Cerca

☐ MEETING ABSTRACT (2)
☐ REVIEW (1)
☐ CORRECTION (1)
[more options / values...](#)
Refine

Organizations-Enhanced
☐ STATE UNIVERSITY SYSTEM OF FLORIDA (10)
☐ UNIVERSITY OF LOUISIANA LAFAYETTE (5)
☐ UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (5)
☐ FLORIDA ATLANTIC UNIVERSITY (5)
☐ CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS CONICET (4)
[more options / values...](#)
Refine

Funding Agencies
Open Access
Authors
View all options
For advanced refine options, use
[Analyze Results](#)

☐ 36. **Count Your Eggs Before They Invade: Identifying and Quantifying Egg Clutches of Two Invasive Apple Snail Species (*Pomacea*)**
By: Kyle, Colin H.; Plantz, Allyson L.; Shelton, Therese; et al.
PLOS ONE Volume: 8 Issue: 10 Article Number: e77736 Published: OCT 16 2013
[Consulta](#) [View Abstract](#) Times Cited: 9 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count [▼](#)

☐ 37. **Larval trematodes in freshwater gastropods from Mato Grosso, Brazil: diversity and host-parasites relationships**
By: de Mattos, Aline Carvalho; Furtado Boaventura, Maria Fernanda; Fernandez, Monica Ammon; et al.
BIOTA NEOTROPICA Volume: 13 Issue: 4 Pages: 34-38 Published: OCT-DEC 2013
[Consulta](#) [View Abstract](#) Times Cited: 2 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count [▼](#)

☐ 38. **Genetic exchange between two freshwater apple snails, *Pomacea canaliculata* and *Pomacea maculata* invading East and Southeast Asia**
By: Matsukura, Keiichiro; Okuda, Mitsuru; Jorge Cazzaniga, Nestor; et al.
BIOLOGICAL INVASIONS Volume: 15 Issue: 9 Pages: 2039-2048 Published: SEP 2013
[Consulta](#) [View Abstract](#) Times Cited: 11 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count [▼](#)

☐ 39. **Comparing apples with apples: clarifying the identities of two highly invasive Neotropical Ampullariidae (Caenogastropoda)**
By: Hayes, Kenneth A.; Cowie, Robert H.; Thiengo, Silvana C.; et al.
ZOOLOGICAL JOURNAL OF THE LINNEAN SOCIETY Volume: 166 Issue: 4 Pages: 723-753 Published: DEC 2012
[Consulta](#) [View Abstract](#) Times Cited: 55 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count [▼](#)

☐ 40. **Factors affecting hatching success of golden apple snail eggs: Effects of water immersion and cannibalism**
By: Horn, Katherine C.; Johnson, Sally D.; Boles, Kate M.; et al.
WETLANDS Volume: 28 Issue: 2 Pages: 544-549 Published: JUN 2008
[Consulta](#) [View Abstract](#) Times Cited: 13 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count [▼](#)

☐ Select Page [SK](#) Save to EndNote online [Add to Marked List](#)

Sort by: Publication Date -- newest to oldest Show: 10 per page Page 4 of 5

om/summary.do?product=WOS&parentProduct=WOS&search_mode=GeneralSearch&parentQid=&qid=2&SID=R18n9vfHt 80% Cerca

Web of Science InCites Journal Citation Reports Essential Science Indicators EndNote Publius Sign In Help English

Web of Science Clarivate Analytics

Search My Tools Search History Marked List

Results: 42
(from Web of Science Core Collection)
You searched for: TOPIC:
(Pomacea maculata) ...More
[Create Alert](#)

Refine Results
Search within results for...

Publication Years
☐ 2016 (15)
☐ 2017 (10)
☐ 2015 (5)
☐ 2014 (4)
☐ 2013 (4)
[more options / values...](#)
Refine

Web of Science Categories
☐ ECOLOGY (14)
☐ MARINE FRESHWATER BIOLOGY (12)
☐ BIODIVERSITY CONSERVATION (10)
☐ ZOOLOGY (7)
☐ FISHERIES (4)
[more options / values...](#)
Refine

Sort by: Publication Date -- newest to oldest Show: 10 per page Page 5 of 5

☐ 41. **Exotic freshwater mollusks in Chile**
By: Letelier V, Sergio; Ramos L., Ana M.; Huaquin M., Laura G
REVISTA MEXICANA DE BIODIVERSIDAD Volume: 78 Supplement: S Pages: 9S-13S Published: OCT 2007
[Consulta](#) [View Abstract](#) Times Cited: 4 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count [▼](#)

☐ 42. **Intrahost distribution and transmission of a new species of cyclopoid copepod endosymbiotic to a freshwater snail, *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda, Ampullariidae) from Argentina**
By: Gamarra-Luques, CD; Vega, IA; Koch, E; et al.
BIOCELL Volume: 28 Issue: 2 Pages: 155-164 Published: 2004
[Consulta](#) [View Abstract](#) Times Cited: 11 (from Web of Science Core Collection)
Usage Count [▼](#)

☐ Select Page [SK](#) Save to EndNote online [Add to Marked List](#)

Sort by: Publication Date -- newest to oldest Show: 10 per page Page 5 of 5

42 records matched your query of the 65,492,241 in the data limits you selected.
Key: * = Structure available.



Original article

Impact of invasive apple snails on the functioning and services of natural and managed wetlands

Finbarr G. Horgan^{a,*}, Alexander M. Stuart^a, Enoke P. Kudavidanage^b^a International Rice Research Institute, DAPO Box 7777, Metro Manila, Philippines^b Department of Natural Resources, Sabaragamuwa University, Belihuloya, Sri Lanka

ARTICLE INFO

Article history:

Received 18 April 2012

Accepted 7 October 2012

Available online 11 November 2012

Keywords:

Aquatic macrophytes

Asia

Benthic invertebrates

Community structure

Nutrient cycle

Rice

Stable states

ABSTRACT

At least 14 species of apple snail (Ampullariidae) have been released to water bodies outside their native ranges; however, less than half of these species have become widespread or caused appreciable impacts. We review evidence for the impact of apple snails on natural and managed wetlands focusing on those studies that have elucidated impact mechanisms. Significant changes in wetland ecosystems have been noted in regions where the snails are established: Two species in particular (*Pomacea canaliculata* and *Pomacea maculata*) have become major pests of aquatic crops, including rice, and caused enormous increases in molluscicide use. Invasive apple snails have also altered macrophyte community structure in natural and managed wetlands through selective herbivory and certain apple snail species can potentially shift the balance of freshwater ecosystems from clear water (macrophyte dominated) to turbid (plankton dominated) states by depleting densities of native aquatic plants. Furthermore, the introductions of some apple snail species have altered benthic community structure either directly, through predation, or indirectly, through exploitation competition or as a result of management actions. To date much of the evidence for these impacts has been based on correlations, with few manipulative field or mesocosm experiments. Greater attention to impact monitoring is required, and, for Asia in particular, a landscape approach to impact management that includes both natural and managed-rice wetlands is recommended.

© 2012 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

Wetlands rank among the most productive ecosystems on the planet, providing a range of ecosystem services and economic benefits: they defend coastal and riverside areas against storms and floods, purify water, control erosion, retain pollutants, and they maintain a high diversity of animal and plant species, often functioning as nurseries for fish and shellfish, or as nesting sites for waterfowl (Mitsch and Gosselink, 2007). Wetlands provide major sources of human nutrition in the form of aquatic species that are hunted, fished or farmed in natural areas, but also from intensive and semi-intensive agriculture in managed or artificial wetlands such as rice fields. Macrophyte community structure (relative abundance and diversity) represents a key determinant of wetland form and function. Macrophytes purify water (by oxygenation and the conversion of toxic ammonia to usable nitrates), recycle nutrients, provide refuges, microhabitats and food for aquatic organisms, and provide physical structures (stems and leaves) that determine

water flow patterns, sedimentation levels, and light and temperature gradients through the water body (De Nie, 1987; Petr, 2000). In agricultural wetlands, aquatic macrophytes (other than the crop species) are often regarded by farmers and agronomists as nuisance weeds that compete with the crop for resources (Ampong-Nyarko and De Datta, 1991). However, several crop-associated macrophytes are used as supplementary food for people and livestock, and as natural medicines (Cruz-Garcia and Price, 2011). For example, Kosaka et al. (2006) identified 11 species that are used as human food, two as animal fodder, and five medicinal plants from among 184 rice-associated weeds in Laos. Some macrophytes, including the free-floating fern *Azolla*, are encouraged in rice fields to increase nitrogen-fixation (Mandal et al., 1999). Changes in aquatic macrophyte communities can have marked effects on water turbidity and chemistry, particularly in shallow ponds and lakes (De Nie, 1987; Petr, 2000; Carlsson et al., 2004; Hargeby et al., 2004). Such changes are sometimes the effects of over-exploitation of native herbivores, the introduction of predators (cascades), or the invasion of wetlands by exotic herbivorous fish, crustaceans or mollusks (Hansson et al., 1987; Scheffer et al., 1993; Gunderson, 2000; Carlsson et al., 2004).

* Corresponding author. Tel.: +63 2 5805600x2708.

E-mail address: f.horgan@irri.org (F.G. Horgan).

Several species of aquatic snail have invaded wetlands outside their original distribution ranges. These invasions are often associated with enormous increases in secondary production and significant alterations in wetland conditions (habitat, structure of benthic communities, water turbidity) (Hall et al., 2003, 2006; Dana and Appleton, 2007; França et al., 2007; Arango et al., 2009). Many invasive snails feed predominantly on detritus, periphyton, lower aquatic algae and other microscopic organisms; but one group in particular – **the apple snails (Ampullariidae) – are recognized for their tendency to feed predominantly on fresh macrophyte material** (Estebenet and Martin, 2002a,b; Estebenet, 1995). Several species of apple snails have invaded regions outside their native distribution ranges (Table 1). Their diets together with their large body mass and generally high reproductive output (Table 2) allow some of these snails to effect rapid changes in macrophyte community structure, shift the nutrient balance and turbidity states of water bodies and cause huge losses to agricultural productivity and profitability (i.e., *Pomacea canaliculata* (Lamarck): Litsinger and Estano, 1993;

Halwart, 1994; Naylor, 1996; Carlsson et al., 2004; Kwong et al., 2010). Because apple snails are predominantly tropical and subtropical, their negative impacts are mostly sustained in developing nations where rice is the main staple food and rice farming is the principal agricultural activity (Khush, 1997). Apple snails directly impact peoples' livelihoods in developing nations because of a relatively high reliance on local agriculture and natural ecosystems for food and materials (Cruz-Garcia and Price, 2011).

In this review, we report on the diversity of apple snails introduced to tropical and subtropical regions, examining their impact on aquatic macrophyte and benthic communities and consequently on wetland function. Although apple snails are often used for food and medicine, this review focuses mainly on their potential negative impacts cognizant that any benefits from introduced snails, particularly in South East Asia, could have been gained through better management of native snail species (i.e., Jahan et al., 2001; Thawnon-ngiw et al., 2003). **Since 2000, research attention has generally shifted away from exploring the impact and management**

Table 1
Species of apple snail found outside their native distribution range.

Species and common name	Reason for introduction	Native range ^a	Invaded range ^a
<i>Marisa cornuarietis</i> (Linnaeus, 1758) – Giant rams-horn snail	Biological control of schistosomiasis vectors and weeds, pet trade	South America (Colombia and Venezuela) [1]	Costa Rica, Cuba, Dominican Republic, Egypt, French Guyana, Guadeloupe, Guyana, Panama, Puerto Rico, Sudan, Surinam, Tanzania, USA (Florida, Texas) [1]; Martinique, St Kitts [2]; New Zealand [3]
<i>Pila conica</i> (Wood, 1828) – Black apple snail ^b	Food	South-East Asia (Philippines) [1]	Guam, Palau, USA (Hawaii) [1]; India [4]
<i>Pila globosa</i> (Swainson, 1822) – Indian apple snail	Food, commerce, potential biological control of schistosomiasis vectors	Bangladesh, India (North) [5]	India (Kerala) [6]
<i>Pila leopoldvillensis</i> (Putzeys, 1889) – Giant African apple snail	Food	Africa [7]	Philippines [7]; Taiwan [1]
<i>Pomacea bridgesii</i> (Reeve, 1856) – Spike-topped apple snail ^c	Pet trade	Bolivia, Brazil [8]	Chile [9]; India (West Bengal) [10]; Sri Lanka [11]
<i>Pomacea canaliculata</i> (Lamarck, 1822) – Channeled apple snail	Food and commerce, pet trade	Argentina, Uruguay, Paraguay, Brazil, and Possibly Bolivia [1]	Cambodia, Chile, China, Dominican Republic, Egypt, Guam, Indonesia, Japan, Lao, Malaysia, Myanmar, Papua New Guinea, Philippines, Singapore, South Africa, South Korea, Taiwan, Thailand, Vietnam, USA (Arizona, California, Florida, Hawaii) [1]; USA (Texas, North Carolina) [12], Pakistan [13], Russia (Siberia) [14]; Australia (western) [15]; Brazil (Pará, Pernambuco, Rio de Janeiro), Colombia, French Guiana, Panama, Sri Lanka, USA (Florida, Hawaii), Venezuela [1]; New Zealand [16]; Puerto Rico, USA (Alabama) [17]; Caribbean ^d [2]; Philippines [18]
<i>Pomacea diffusa</i> (Blume, 1957) – Spike-topped apple snail ^c	Pet trade	South America (Amazon Basin) [1]	USA (Florida) [12]
<i>Pomacea glauca</i> (Linnaeus, 1758)	Biological control of schistosomiasis vectors and weeds, pet trade	South America (Northern) and Caribbean ^d [8]	Panama [19]
<i>Pomacea haustorium</i> (Reeve, 1858) – Titan apple snail ^e	Pet trade	Bolivia, Brazil (Amazon region), Peru [12]	South Africa [20] ^g
<i>Pomacea latreii</i> (Reeve, 1856) ^f	Aquaculture	Guatemala	
<i>Pomacea lineata</i> (Spix, in Wagner, 1927) ^g	Pet trade	Brazil and Guyanas [8]	
<i>Pomacea maculata</i> (D'Orbigny, 1835) – Island apple snail^h	Food, commerce, pet trade	Lower Paraná, Uruguay and La Plata Basins [15]	Cambodia, Singapore, South Korea, Thailand, USA (Alabama, Florida, Georgia, Louisiana, South Carolina, Texas), Vietnam [1]; Malaysia (Borneo), Taiwan [15]; Puerto Rico, USA (Arizona) [17]; Spain [21]
<i>Pomacea paludosa</i> (Say, 1829) – Florida apple snail	Pet trade	Cuba, USA (Florida) [8]	USA (Alabama, North Carolina) [22]; Puerto Rico [23]
<i>Pomacea scalaris</i> (d'Orbigny, 1835)	Food, commerce	Argentina, Bolivia, Brazil [15]	Taiwan [15]

^a Numbers in parentheses indicate source references – 1, Cowie and Hayes (2012); 2, Cowie (2001); 3, Chapman et al. (1974); 4, Cowie (2002); 5, Jahan et al. (2001); 6, Thomas (1975); 7, Barcelo and Barcelo (1988); 8, Cowie and Thiengo (2003); 9, Letelier et al. (2007); 10, Raut and Aditya (1999); 11, Marambe et al. (2003); 12, Rawlings et al. (2007); 13, Baloch et al. (2012); 14, Yanygina et al. (2010); 15, Hayes et al. (2008); 16, Colloer et al. (2011); 17, United States Geological Survey (2012); 18, Mochida (1987); 19, Angehr (1999); 20, Dana and Appleton (2007); 21, European Food Safety Authority (2012); 22, Hayes (personal communication); 23, Williams et al. (2001).

^b *Pomacea luzonica* is a synonym of *P. conica* that appears in some publications.

^c *Pomacea bridgesii* and *P. diffusa* are often confused during identification; All reported *P. bridgesii* introductions have not yet been verified.

^d This species might not be native to the Caribbean.

^e *Pomacea haustorium* is possibly a synonym of *P. maculata* (Hayes, personal communication).

^f Reports of introduction of *P. latreii* have not been confirmed. The species may be a synonym of *P. flagellata* (Say, 1829) (Hayes, personal communication).

^g Unconfirmed report of *P. lineata* in South Africa is likely *P. canaliculata* (Hayes, personal communication).

^h *Pomacea insularum* and *P. gigas* are synonyms of *P. maculata* (Hayes et al., in press).

Table 2Invasive status of introduced apple snails with available information on life-history traits and diet.^a

Species	Status outside its native range	Clutch size (reported range) ^b	Time to hatch (reported range in days) ^b	Max shell height (mm) ^b	Diet (macrophytes consumed/tested + observations)
<i>P. canaliculata</i>	Widespread in tropics and subtropics [1,2]	14–500 [3]	7–28 [3]	80 [4]	51/67 + bryozoans, filamentous algae, periphyton [5–17]
<i>P. maculata</i>	Widespread in tropics and subtropics [1,2]	522–4751 [18]	7–21 [19]	80 [18] ^c	46/52 + snail eggs, periphyton [10,14,20–22]
<i>M. cornuarietis</i>	Became widespread in the Caribbean, possibly declining in some other regions [1]	50–210 [3]	8–24 [3]	60 [23]	23/26 + snail eggs, animal matter [5,14,23,24]
<i>P. conica</i>	Restricted to a few Hawaiian and Pacific islands [25]	28–313 [26]	17–28 [26]	32 [26]	Macrophytes [26,27]
<i>P. diffusa</i>	Localized [1] or declining [25]	na	na	na	1/8 [14]
<i>P. glauca</i>	Localized [28], declining or not established ^d	30–90 [3]	14–17 [3]	na	Macrophytes [28]
<i>P. haustorium</i>	Localized or declining [1]	ca. 236 [3]	9–30 [3]	na	5/8 + filamentous algae, animal matter, snail eggs [5,14,29]
<i>P. paludosa</i>	Localized [30] or not established [27]	3–141 [3]	15–20 [3]	70 [1]	5/8 [14]
<i>P. scalaris</i>	Localized [31]	9–302 [31]	na	40 [31]	Macrophytes [31]
<i>P. globosa</i>	No recent records	200–300 [3]	10–30 [3]	na	Macrophytes [32]
<i>P. leopoldvillensis</i>	Possibly never established ^d	na	na	na	Macrophytes, snails, insect larvae and other arthropods [33]
<i>P. bridgesii</i>	Unverified records	50–200 [34]	15–24 [34]	57 [34]	Macrophytes, snail eggs, animal matter [35,36]
<i>P. lattrei</i> – <i>P. flagellata</i>	Unverified records [30]	na	na	27 [37]	Macrophytes [38]
<i>P. lineata</i>	Unverified records ^e	400–600 [39]	ca. 15 [3]	na	Varied sources from several trophic levels [40]

^a Numbers in parentheses indicate source references - 1, Rawlings et al. (2007); 2, Hayes et al. (2008); 3, Cowie (2002); 4, Estebenet and Cazzaniga (1998); 5, Cazzaniga and Estebenet (1984); 6, Lach et al. (2000); 7, Carlsson and Lacoursière (2005); 8, Carlsson and Brönmark (2006); 9, Wood et al. (2006); 10, Boland et al. (2008); 11, Qiu and Kwong (2009); 12, Fang et al. (2010); 13, Wong et al. (2010); 14, Morrison and Hay (2011a); 15, Morrison and Hay (2011b); 16, Qiu et al. (2011); 17, Wang and Pei (2012); 18, Barnes et al. (2008); 19, Howells et al. (2006); 20, Burlakova et al. (2009); 21, Baker et al. (2010); 22, Burks et al. (2010); 23, Seaman and Porterfield (1964); 24, Hofkin et al. (1991); 25, Tran et al. (2008); 26, De Lara (2003); 27, Levin et al. (2006); 28, Pointer et al. (1991); 29, Guimarães (1983); 30, Hayes – personal communication; 31, Wu et al. (2011); 32, Jahan et al. (2001); 33, Van Coillie et al. in Cazzaniga and Estebenet (1984); 34, Coelho (2012); 35, Aditya and Raut (2001); 36, Aditya and Raut (2002); 37, Reed and Janzen (1999); 38, Angehr (1999); 39, Lopes (1956); 40, Fellerhoff (2002); na = no data available.

^b Ranges are given to indicate plasticity and maximum values, but temperatures and conditions differed across studies; Maximum shell height refers to the maximum recorded in published scientific papers.

^c In some, perhaps unusual cases, snails may attain >155 mm in height (Cowie, 2002).

^d Apparently introduced to the Philippines in the 1980s (Mochida, 1987), but there have been no records since, records of *P. glauca* may be misidentifications.

^e Reported from South Africa with no further records.

of apple snails in agriculture (rice, *Oryza sativa* L. and taro, *Colocasia esculenta* L.) or as biological control agents of disease vectors and weeds, and toward understanding their dynamics, behavior and impact on natural and semi-natural wetland ecosystems. This new body of research has tremendously increased our capacity to predict the outcomes of apple snail invasions and to improve management and amelioration strategies. In particular, over the last five years, a large number of studies have focused on the interactions between apple snails and aquatic macrophytes, and have rapidly advanced knowledge in this area. Here we concentrate on the environmental impacts of apple snails and look at the state of evidence that connects invasions to reported impacts, identifying knowledge gaps and highlighting studies that have elucidated impact mechanisms. We also examine the links between agricultural and natural wetlands and suggest that these might best be regarded as part of a dynamic invasion landscape each with different roles in determining the distribution and impact of the snails. Finally, we make recommendations concerning future research required to improve our understanding of the ecological impacts of invasive apple snails.

2. Apple snail invaders of wetland ecosystems

Apple snails are freshwater snails that naturally occur throughout the humid tropics and sub-tropics. The genus *Pomacea* with the largest number of species (about 50), and the genus *Marisa* are mainly of South and Central American origin. The genus *Pila*, with over 30 species, occurs throughout South and South-East Asia, and in Africa (Cowie, 2002; Hayes et al., 2008). Over the last 60 years, several members of these three genera have been introduced

to new regions (Table 1). Many of these introductions have been linked to the pet trade, but there have also been several deliberate introductions to promote aquaculture and cottage industry, or for the biological control of other aquatic snails and weeds. Several authors have described the unfortunate oversights that led to the introduction of a number of *Pomacea* species to South East Asia, where two species, *P. canaliculata* and *Pomacea maculata* D'Orbigny (synonym: *Pomacea insularum*), are considerable pests of rice and aquatic vegetables (Cowie, 2002; Qiu and Kwong, 2009). Table 1 summarizes reported introductions of 14 apple snail species to new regions, including some native transfers (where species are found at new locations within their native region but outside their normal distribution; i.e., *Pomacea paludosa* (Say)) and unverified reports of introductions, (i.e., *Pomacea bridgesii* (Reeve), *Pomacea lattrei* (Reeve)). The table does not include species that have invaded new habitat in their native ranges (i.e., *Pomacea dolioides* (Reeve) in pre-germinated rice fields in Surinam: Cowie, 2002; Wiryareja and Tjoe-Awie, 2006), although the dynamics of 'new habitat' and 'regional' invasions are potentially similar. Some of the reports concern the known introduction of species for specific objectives (i.e., biological control or gastronomy) with no further records of establishment or spread (i.e., *Pila leopoldvillensis* (Putzeys) in the Philippines and *Pomacea diffusa* Blume in Australia and New Zealand: Barcelo and Barcelo, 1988; Halwart, 1994; Hayes et al., 2008; Colloer et al., 2011).

Difficulties in identifying apple snail species have led to several reports of distribution and impact that are associated with incorrectly identified or unverified species. In this review, we present species names as they appear in original reports, but

indicate probable misidentifications and in some cases use corrected species names (based on recent updates in taxonomy, improved distribution records, and advice from snail taxonomists, in particular K.A. Hayes). Confusion in identifying invading apple snails and in determining their spread has been due to two main factors: (1) that many introductions have been illegal and consisted of unidentified species gathered from the wild or from mixed sources; and (2) that apple snails are anatomically very similar and species identities are often difficult to determine. Recent studies have used molecular approaches and developed molecular tools to help clarify some of the issues (Rawlings et al., 2007; Hayes et al., 2008, in press; Matsukura et al., 2008; Tran et al., 2008; Dong et al., 2011; Cooke et al., 2012). For example, through analysis of subunit I of the cytochrome c oxidase gene (COI) (mitochondrial DNA [mtDNA]) in snails from 164 Asian locations and 57 South American locations, Hayes et al. (2008) determined that there were multiple apple snail introductions to Asia with two species, *P. canaliculata* and *P. maculata*, now widespread, and two, *P. diffusa* and *Pomacea scaralis* (D'Orbigny) restricted to a few sites. Meanwhile, Rawlings et al. (2007) used two portions of mtDNA, including COI, to identify five species in the continental USA. These authors note that some introduced apple snail species may be in decline in the USA due to competition with recently introduced and more aggressive congeners. Because species have been confused in the past, it is difficult to clearly attribute impacts to particular species. For example, *P. canaliculata* has spread throughout most of South-East Asia where it causes severe damage to rice during crop establishment. However, *P. maculata* invaded many of the same regions as *P. canaliculata* at about the same time. There is little direct evidence for *P. maculata* impact on rice fields and other aquatic ecosystems in the region because all early reports referred only to *P. canaliculata*. Where possible, Table 1 indicates the commonly misidentified species; however, as taxonomy continues to be revised, some of the species in Table 1 may be merged with other taxa, and some reported introductions may be corrected in the future – in particular the introductions of *P. bridgesii*, *P. latitrei* and *Pomacea lineata* (Spix, in Wagner) require verification.

Whereas much of the information presented in later sections of this review relates to potential impacts of apple snails in general, we have included specific examples where possible, mindful that different species will have different impacts: Impact and invasiveness are determined by the biological and behavioral traits of each snail species as well as their interactions with other components of the invaded habitat, including release from natural enemies. Table 2 presents some aspects of the biology of apple snails that could be linked to their invasiveness and impact. It is noteworthy that two of the most destructive species, *P. canaliculata* and *P. maculata*, are among the largest and most fecund. Even though egg clusters can be several times larger in *P. maculata* than in *P. canaliculata*, the hatchlings of the latter species are considerably bigger (Barnes et al., 2008) such that reproductive effort as a whole may be a better determinant of invasiveness. An investment in larger eggs could increase the competitive ability of hatchlings and improve a species' capacity to successfully establish in new habitats. The benefits and trade-offs related to larger hatchlings or higher fecundities for invasive snails are unknown. Wu et al. (2011) suggest that large clutches, larger hatchlings and faster development have determined the wider distribution of *P. canaliculata* compared to *P. scaralis* in Taiwan; however, in the case of *Pila conica* (Wood) and *P. canaliculata*, the hatchlings of the former are almost twice as large as those of *P. canaliculata*, yet evidence suggests that *P. conica* has declined or been eliminated from habitats recently invaded by *P. canaliculata* (De Lara, 2003; Tran et al., 2008). Furthermore, under similar laboratory conditions, the onset of oviposition was three times faster in *P. canaliculata* than in *P. conica*, but clutches were

three times as large in the latter species (De Lara, 2003). Other factors that may influence the success of apple snails during invasion include their rate of development (time to egg hatch, time to sexual maturity), longevity, and body size. Details of some of these parameters are presented in Table 2; however, apple snails demonstrate tremendous plasticity in life-history traits, and these parameters are likely to change with food availability, ambient temperatures and population densities (*P. canaliculata*: Estebenet and Martin, 2002a,b; Tamburi and Martín, 2009; *P. maculata*: Burlakova et al., 2010). Plasticity itself could be a trait that contributes to apple snail invasiveness. Information about key life-history traits at comparative temperatures and population densities is not available for most invasive apple snails (Table 2). Furthermore, the broad diet ranges of each species have not been compared during controlled experiments (but see Morrison and Hay, 2011a) (Table 2). Nevertheless, according to Table 2, the three most successful invaders each consumed over 76% of the species offered during feeding trials (*P. canaliculata*, 76%, *P. maculata*, 88%, and *Marisa cornuarietis* (Linnaeus), 88%). During trials conducted by Morrison and Hay (2011a) using eight plant species, the diets and conversion efficiencies were similar among *M. cornuarietis*, *P. canaliculata*, *P. maculata*, *Pomacea haustorium* (Reeve) and *P. paludosa*. Meanwhile *P. diffusa* had a limited diet range and poor conversion efficiency (Table 2). As knowledge of the life-histories and behaviors of these species accumulates, apple snails could become a model to assess key traits associated with invasiveness.

3. Effects on macrophyte community structure

Apple snails will feed on most classes of macrophyte (submerged, floating and emergent) but have marked preferences for certain plant species and often perform poorly (feed less, grow slower and reproduce less) on unpalatable plants (Estebenet, 1995; Lach et al., 2000; Carlsson and Brönmark, 2006; Boland et al., 2008; Gettys et al., 2008; Burlakova et al., 2009; Qiu and Kwong, 2009; Wong et al., 2009; Baker et al., 2010; Morrison and Hay, 2011a; Wang and Pei, 2012). However, there is still little evidence from field experiments in natural wetlands or agricultural systems of preferential grazing on one or other plant species (Table 3): Burlakova et al. (2010) found clear habitat preferences by *P. maculata* for macrophyte-dominated zones in artificial ponds in Texas, USA, where the snails were more abundant on Alligator weed (*Alternanthera philoxeroides* Griseb) than in deeper water zones. Alligator weed was also the preferred food in parallel laboratory experiments (Burlakova et al., 2009). Carlsson and Brönmark (2006) noted that *Ludwigia adscendens* L. Hara and *Salvinia cucullata* Rox ex Bary, which were severely impacted by *P. canaliculata* in caged feeding trials, had almost disappeared from natural ponds near Vientiane, Laos. Furthermore, Wang and Pei (2012) observed that *P. canaliculata* reduced the biomass and density of *Hydrilla verticillata* L. f. and *Potamogeton crispus* L., but had no effect on *Vallisneria spiralis* L. and *Acorus calamus* L. in a riverine restoration plot in China. The case of *M. cornuarietis* and *Pomacea glauca* L. as biological control agents reducing weeds in the Caribbean and Africa is well documented (Jobin, 1970; Jobin et al., 1973; Nguma et al., 1982; Pointer et al., 1991; Pointer and Augustin, 1999; Pointer, 2001). In the Philippines, evidence from experimental rice plots that manipulated snail densities, and from farmers' fields, suggests that *P. canaliculata* can reduce weed populations and increase rice yield (Joshi et al., 2006). Similarly Luna Maldonado and Nakaji (2008) indicate that *Cyperus difformis* L. had disappeared, and several other weed species declined between 1996 and 1997 when apple snails invaded a farm in Japan. Much of these observations are poorly supported with data (Table 3) and more direct evidence from replicated field sites would be welcome.

Table 3

Reported impacts of invasive apple snails on native animal and plant communities, nutrient cycling and the spread of disease.

Species	Region	Habitat	Reported impact	Evaluation method	Source
Macrophytes					
<i>M. cornuarietis</i>	USA (Texas)	Lake (Landa)	Some dense macrophyte patches were denuded, reducing the need for mowing of plants by park employees	Field observations	Horne et al. (1992)
<i>P. canaliculata</i> and/or possibly <i>P. maculata</i>	Laos	Ponds	Reduced densities of <i>Ludwigia adscendens</i> L. Hara and <i>Salvinia cucullata</i> Rox ex Bary	Field observations linked to feeding trials in enclosures	Carlsson and Brönmark (2006)
<i>P. canaliculata</i>	South China	Riverine restoration plot	Altered macrophyte community and reduced water quality due to detritus and plant waste materials	Field observations linked to feeding trials in enclosures	Wang and Pei (2012)
<i>P. canaliculata</i>	South China	Cultivated aquatic crops	Damaged several cultivated semi-aquatic vegetables	From newspaper reports	Qiu and Kwong (2009)
<i>Pomacea</i> spp.	Hawaii, Hong Kong, Japan, Philippines	Cultivated aquatic crops	Damaged several cultivated semi-aquatic vegetables	Literature search	Cowie (2002)
<i>P. canaliculata</i>	Japan	Rice fields	Reduced density of <i>Cyperus difformis</i> L. and other macrophytes	Comparison of pre and post-invasion macrophyte communities	Luna Maldonado and Nakaji (2008)
<i>P. canaliculata</i>	Philippines	Rice fields	Reduced densities of non-crop macrophytes and increased rice grain yield	Comparison of molluscicide treated and untreated plots, and farmers' fields under different snail management regimes	Joshi et al. (2006)
<i>P. canaliculata</i>	Philippines	Rice fields	Destroyed up to 96% of rice hills when seedlings were 20 days old; US\$1200 million losses in rice production between 1980 and 1990	Comparisons of plots with known snail densities	Litsinger and Estano (1993), Halwart (1994), Naylor (1996)
<i>P. canaliculata</i>	Japan	Rice fields	Reduced macrophyte richness and coverage	Survey of fields with and without snail	Hidaka et al. (2007)
Macrophytes and snails					
<i>M. cornuarietis</i>	Puerto Rico	Farm ponds	Reduced macrophyte and <i>Biomphalaria glabrata</i> (Say) densities	Periodic surveys	Jobin (1970) and Jobin et al. (1973)
<i>P. glauca</i>	Guadeloupe	Lake (Grand-Etang)	Reduced densities of <i>Pistria stratiotes</i> L. and <i>B. glabrata</i>	Surveys conducted over several years	Pointer et al. (1991)
<i>M. cornuarietis</i>	Guadeloupe	Lakes and ponds	Reduced densities (eliminated) of <i>P. stratiotes</i> and <i>B. glabrata</i>	Surveys conducted over several years	Pointer and David (2004)
<i>M. cornuarietis</i>	Tanzania	Reservoir	Reduced densities of <i>Bulinus tropicus</i> (Krauss), <i>Biomphalaria pfeifferi</i> (Krauss) and <i>Lymnaea natalensis</i> (Krauss) and eliminated <i>Cyperus</i> spp.	Monitoring	Nguma et al. (1982)
Benthic communities					
<i>P. canaliculata</i>	Hong Kong	General	Reduced density of <i>Austropeplea ollula</i> (Gould) and <i>Biomphalaria straminea</i> (Dunker)	Not presented	Fang et al. (2010)
<i>P. canaliculata</i> and/or possibly <i>P. maculata</i>	Thailand	Ponds and waterways	Reduced bryozoan abundance and changed community composition	Field observations linked to feeding trials in enclosures	Wood et al. (2006)
<i>P. maculata</i>	USA (Florida)	Ponds and waterways	Reduced densities of <i>Pomacea haustum</i> (Reeve) in some areas	Not presented	Morrison and Hay (2011a)
<i>P. canaliculata</i>	Philippines	Rice fields	Reduced densities of <i>Pila conica</i> (Gray) that was once used for human food	Not presented	Basilio (1991)
<i>P. canaliculata</i>	Philippines	Rice fields	Reduced densities of <i>Misgurnus anguillicaudatus</i> (Cantor) that was once used for human food	Not presented	Halwart (1994)
<i>P. canaliculata</i>	Hong Kong	Stream	Caused a delay in reproduction and longer recruitment period of <i>Radix plicatulus</i> (Benson)	Comparison of life-histories in invaded and non-invaded sites	Lam (1994)
Food chain					
<i>P. canaliculata</i>	Hong Kong	Lotic and lentic wetlands	Massive increase in secondary production (greater than published estimates for any other freshwater snails)	Size–frequency method with samples collected throughout a year	Kwong et al. (2010)
<i>P. canaliculata</i>	Hong Kong	Pond enclosures	Reduced biomass of filamentous green algae (<i>Spirogyra</i> sp.); reduced macrophyte biomass, increased phytoplankton biomass and altered phytoplankton community structure	Comparison of enclosure with and without snails	Fang et al. (2010)
<i>P. canaliculata</i>	Thailand	Wetlands	Reduced densities of aquatic macrophytes, increased nutrient concentrations in the water, increased phytoplankton biomass and shifted water toward a turbid state	Regression analyses from survey of 13 wetland sites	Carlsson et al. (2004)

Table 3 (continued)

Species	Region	Habitat	Reported impact	Evaluation method	Source
<i>Pomacea</i> spp.	Panama	Lake (Gatun)	High snail densities supported breeding populations of snail kite (<i>Rostrhamus sociabilis plumbeus</i> Ridgway) that were previously only vagrant at the lake.	Field observations	Angehr (1999)
<i>P. maculata</i>	USA (Florida)	Wetland fragments	Alterations in adult snail kite feeding behavior and energetic deficiencies in juvenile birds	Comparison of time-activity budgets of kites in invaded and non-invaded wetlands	Cattau et al. (2010)
Human and animal health <i>P. canaliculata</i>	Indo-Pacific region	General	Carry and spread angiostrongyliasis and other human and animal diseases (not exclusive)	Not presented	Lv et al. (2009), Hollingsworth and Cowie (2006)

Results from a number of recent laboratory studies will help predict the impact of apple snails on invaded macrophyte communities based on plant characteristics underlying feeding preferences. It is not surprising that apple snails (*P. canaliculata* and *P. maculata*) show preferences for several species with low chemical defenses (i.e., phenols) (Boland et al., 2008; Qiu and Kwong, 2009; Wong et al., 2010), including plants whose defenses have been induced (*P. canaliculata*: Morrison and Hay, 2011b). However, there are exceptions to this general rule, suggesting that apple snails have adapted to avoid or overcome the defenses of some common plants from their native ranges (but see Morrison and Hay, 2011c). For example both *P. canaliculata* and *P. maculata* can feed liberally on *Myriophyllum* spp. in spite of the high chemical defenses of these plants (Boland et al., 2008). Plants with low physical defenses (including low dry-matter content) (Litsinger and Estano, 1993; Burlakova et al., 2009; Wong et al., 2010) and high nitrogen, high phosphorous and high chlorophyll contents (Sharfstein and Steinman, 2001; Qiu and Kwong, 2009; Wong et al., 2010) were generally preferred in feeding trials with *P. canaliculata* and *P. maculata*. Preference for plants with these traits appears to be a general phenomenon, such that feeding preferences and performance are similar across several apple snail species (Morrison and Hay, 2011a,c). The influence of these plant traits on herbivory will lead to higher vulnerability of submerged plants compared to emergent plants (Gettys et al., 2008; Wang and Pei, 2012) and of crop plants compared to weeds (Qiu and Kwong, 2009; Burlakova et al., 2009). Furthermore, young plants may be generally more vulnerable than older plants, but this has not been examined in much detail outside the rice system and research has mainly been confined to *P. canaliculata* (Litsinger and Estano, 1993). If seedlings are generally vulnerable, then plants with modular growth, such as several important invasive aquatic plants (i.e., alligator weed, water hyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, and water lettuce, *Pistia stratiotes* L.), might become dominant over time. Of significant importance is the observation by Morrison and Hay (2011c) that snails (*P. canaliculata*, *P. maculata*, *P. haustorium* and *P. paludosa*), when presented with plants from a snail-invaded region (North America) and from the snails' native region (South America) as congeneric pairs in choice tests, showed marked preferences for the North American species. The authors suggest that the native North American plants were naïve to snail herbivory and therefore lacked adequate chemical (or physical) defenses to deter the invasive snails. This suggests that habitat invaded by apple snails will be less resistant to subsequent invasion by exotic aquatic plant species thus supporting the 'invasional meltdown' model of Simberloff and Von Holle (1999).

Given the intense grazing pressure and high biomass of invasive snails recorded from several field studies (Horne et al., 1992;

Carlsson et al., 2004; Hall et al., 2006; Kwong et al., 2010), and the nature of apple snail feeding preferences, we may predict that apple snails will shift macrophyte communities toward dominance by chemically and physically (high dry weight) defended plants. In most cases these will be emergent plants and the more palatable submerged and floating species are expected to decline. However, recruitment of emergent flora will also be affected by snails if seedlings and younger plants are vulnerable to snail herbivory (as in rice). Dry downs in the Florida everglades are noted for their role in augmenting macrophyte diversity (Karunaratne et al., 2006; Darby et al., 2008). Such periods of low water restrict snail activity (i.e., *P. paludosa* movement is restricted when water levels fall below 10 cm – Darby et al., 2002) and could improve recruitment of emergent flora, allowing a dominance of emergent plants after water levels increase again and when the seedlings are sufficiently robust to avoid snail damage. In effect, this is the mechanism underlying current management of snails in rice where fields are periodically drained to prevent apple snail movement and feeding during the vulnerable seedling stages (Litsinger and Estano, 1993; Joshi, 2007). Since most apple snails also require emergent plants as sites for egg laying (Horn et al., 2008; Kyle et al., 2011) and because the hatchlings of some species may prefer epiphytic periphyton over benthic periphyton (i.e., *P. paludosa*: Sharfstein and Steinman, 2001; Shuford et al., 2005), habitats with high densities of emergent vegetation may represent significant sources for snail colonization of adjacent ponds and flooded fields. Because macrophyte species richness (and presumably diversity) enhances wetland ecosystem function (i.e., algal and total plant biomass, and nutrient retention – Engelhardt and Ritchie, 2001), then the alteration of macrophyte communities by apple snails toward dominance by a few functional groups (particularly emergent species) is predicted to decrease the efficiency of wetlands. When exacerbated by shifts in water state (see below), macrophyte diversity loss is expected to severely alter functioning and decrease the ecosystem services provided by wetlands.

4. Effects on benthic communities

There are several reports of invasive apple snails adversely affecting populations of other benthic organisms (Table 3). Apple snails can feed on living invertebrates such as worms, microcrustaceans, and other snails (*M. cornuarietis*: Stryker et al., 1991; Hofkin et al., 1991; *P. bridgesii*: Aditya and Raut, 2001, 2002; *P. canaliculata*: Cazzaniga, 1990; Estebenet and Cazzaniga, 1992; Wood et al., 2006 (possibly also includes *P. maculata*); Kwong et al., 2009; *P. haustorium* Reeve: Guimarães, 1983) including conspecific eggs and hatchlings (i.e., *P. maculata*: Horn et al., 2008); however, under conditions where macrophytes, algae and decaying

plant materials are sufficiently abundant, predation of aquatic fauna is probably low. For example, Kwong et al. (2010) indicated that less than 0.1% of the gut contents of *P. canaliculata* contained invertebrate body parts. Nevertheless, the impact of some apple snail populations could be considerable given their invasive dominance of benthic communities (Kwong et al., 2010). Kwong et al. (2009) found *P. canaliculata* caused mortality of the early stages of five aquatic snails, and of adults of three of the species (all pulmonates), but did not consume adults of two prosobranchs. This pattern was mirrored in observations on the effects of *M. cornuarietis* in a reservoir in Tanzania: The introduced snail 'eliminated' three pulmonate species, but had no apparent effect on *Melanoides tuberculata* Müller, a prosobranch (Nguma et al., 1982). Such field observations are rare and often include more than one introduced biological control snail species, whereas most of the direct observations of predation by apple snails on the eggs, hatchlings and adults of other aquatic snails (i.e., *P. bridgesii*, *P. canaliculata* and *P. haustorium*) have come from experiments in confined aquaria (i.e., Guimarães, 1983; Cazzaniga, 1990; Aditya and Raut, 2002). It is likely that apple snails in general only incidentally consume invertebrates. *P. bridgesii* and *P. diffusa* may be exceptions. *P. diffusa* consumed less plant material in comparative studies with other apple snails (Morrison and Hay, 2011a) and *P. bridgesii* (unverified species identification) exhibited distinct scavenging behavior during feeding trials in India (Aditya and Raut, 2001). *M. cornuarietis* is also frequently cited as a predatory species although authors differ on whether this predation is accidental (Jobin, 1970; Jobin et al., 1973) or not (Demian and Lutfy, 1966; Demian and Kamel, 1973). Some reports suggest that the species may become increasingly predatory as it gains experience through encounters with prey items (Jobin et al., 1973).

Cases of invasive apple snails having depleted or 'eliminated' other aquatic snails are often associated with notable declines in aquatic vegetation. This suggests that exploitation competition is a probable mechanism underlying species loss following invasion. For example at Grand-Etang Lake in Guadeloupe, *P. glauca* depleted mats of the invasive aquatic macrophyte *P. stratiotes* reducing food availability for the schistosomus-vector *Biomphalaria glabrata* Say – but it was the later introduction of *M. cornuarietis* that finally 'eliminated' the pulmonate from the lake (Pointer et al., 1991). Similarly, Jobin et al. (1973) suggest that the elimination of *B. glabrata* from some farm ponds in Puerto Rico, but not from others, was primarily dependent on the amount of vegetation in the ponds. Monitoring over several years at ponds and lakes in Martinique and Guadeloupe indicated that, besides *B. glabrata*, *M. cornuarietis* had no adverse effects on other, native pulmonates (Pointer and Augustin, 1999; Pointer, 2001; Pointer and David, 2004). Some native pulmonates may alter their foraging or reproductive behaviors to coexist with the invading apple snail as occurs with *Radix plicatulus* Benson populations that coexist with *P. canaliculata* in Hong Kong (Lam, 1994). In some cases the elimination of benthic pulmonates by apple snails could be through exploitation competition alone (Pointer et al., 1991; Kruatrachue and Upatham, 1993). The elimination or density reduction of similar snails such as *Pila* spp. in Asia, *P. conica* on some islands of Hawaii (Tran et al., 2008) and other apple snails in North America, following new introductions of apparently more aggressive species (Rawlings et al., 2007), also suggests that interspecific competition can be intense. The niches of these snails are likely to overlap considerably but their competitive abilities will differ. For example, Conner et al. (2008) found that one *P. maculata* adult is sufficient to reduce growth and survival of *P. paludosa* to the same extent as four conspecific adults.

Competition leading to the elimination of dissimilar snails, such as pulmonates, is more difficult to explain. As mentioned above,

exploitation competition with *P. glauca* is implicated in reducing densities of *B. glabrata* in Guadeloupe prior to the release of *M. cornuarietis* (Pointer et al., 1991) and by *M. cornuarietis* itself in farm ponds in Puerto Rico (Jobin, 1970). However, in the latter case Jobin (1970) indicates that the longevity of the apple snail was largely responsible for the outcome of the interaction. It is perhaps unlikely that elimination of pulmonates could result from competition with such dissimilar species as apple snails, without the added mortality due to direct (accidental or selective) predation. Therefore, the observed reduction of native snail densities could result from three distinct processes: a) intraspecific competition and dominance of a restricted niche; b) direct predation on eggs, hatchlings or juveniles of a naïve native species; or c) a two tiered process whereby the snails deplete vegetation thereby reducing refuges of native species and restricting the invasive and native species together into close proximity where predation of the latter is more intense. Evidence gathered so far cannot distinguish these three hypotheses. Further research is required to elucidate the precise mechanisms behind declining native benthic species in areas where apple snails have invaded.

Large numbers of empty shells are an often noted feature of apple-snail invaded habitats (i.e., *M. cornuarietis*: Horne et al., 1992). Where apple snails are consumed by limpkins, *Aramus guarauna* (Linnaeus), or snail kites, *Rostrhamus sociabilis* (Vieillot), accumulations of empty shells occur near perches or nest sites (Beissinger, 1983; Reed and Janzen, 1999; Macek et al., 2009). Empty shells can provide an abundant substrate for the attachment or protection of aquatic organisms. For example, a range of epibionts, symbionts and commensals occur on or in the shells of living and dead apple snails (Damborenea et al., 2006; Vega et al., 2006; Pedroso Dias et al., 2008). Most of these records are from regions where the snails are native and occur at low densities. Apple-snail shells are sometimes covered with epiphytic algae even in invaded habitats; however, under high snail densities shells often appear clean, presumably due to intense grazing by conspecifics, including occasional rasping of the shell apex (personal observations). Therefore, whereas shells could provide shelter for certain small bodied organisms, the suitability of the microhabitat created by shells will likely depend on snail density in the habitat.

5. Effects on nutrient cycling in shallow ponds and lakes

The theory of alternative lake equilibria holds that shallow ponds and lakes exist in either a clear water state with a high coverage of macrophytes, or a turbid water state with high phytoplankton biomass (Scheffer et al., 1993). These equilibrium states are stabilized by interspecific interactions between herbivores and macrophytes, often under the influence of regulators at higher trophic levels (i.e., Hansson, 1992; Hansson et al., 1998). Several mechanisms are involved: in the clear water state, macrophytes control phytoplankton development by reducing light penetration or through negative allelopathy (biochemical interactions between the plants and phytoplankton: Van Donk and Van de Bund, 2002) and by preventing the re-suspension of sediment in the water column. In the turbid water state, herbivores reduce macrophyte coverage and predators reduce zooplankton density, releasing nutrients to the water and thereby promoting the development of phytoplankton (Scheffer et al., 1993). Ponds can shift between these states when nutrient pulses from agricultural run-off lead to eutrophication (Simpson et al., 1994a,b). However, changes in the composition of predator or herbivore assemblages can also cause shifts in water state through cascade effects on phytoplankton biomass mediated through macrophyte community structure. Invasive freshwater snails can affect nutrient cycles in shallow ponds and streams in several ways: Many invasive snails are

detritus or algal feeders associated with massive increases in secondary productivity releasing large amounts of nutrients to the water, reducing nitrogen-fixing algae and bacteria and thereby stimulating macrophyte growth, especially the growth of free-floating species (Brönmark, 1985; Pinowska, 2002; Hall et al., 2003, 2006; França et al., 2007; Arango et al., 2009; Li et al., 2009); In contrast, by feeding directly on macrophytes, high densities of apple snails could alter the nutrient dynamics of water bodies while at the same time significantly reducing the biomass and altering the community composition of macrophytes.

In a survey of natural wetlands invaded by *P. canaliculata* (and possibly *P. maculata*) in Thailand, Carlsson et al. (2004) found strong positive correlations between snail densities and the concentrations of nitrogen, phosphorus and chlorophyll a (a measure of phytoplankton) at wetland sites. Macrophyte species richness and coverage were severely depleted where the snail densities exceeded 2 m². Furthermore, the authors reported that algal blooms had occurred at several sites following the introduction of the snail(s). In effect, according to Carlsson et al. (2004), the snails had tipped the balance from macrophyte-dominated to phytoplankton-dominated primary production and from clear to turbid water. Although the survey cannot rule out the effects of other unrecorded factors on these observed relationships, the results strongly support the idea that unregulated herbivory by apple snails had led to a chain of reactions that altered the water state. In contrast, Fang et al. (2010), in the only other study of effects of invasive apple snails on nutrient cycling, found *P. canaliculata* to have no effect on nitrogen and phosphorous concentrations in 1 m³ mesocosms. In the presence of *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc., phytoplankton biomass increased with increasing snail densities and the community became dominated by Cryptophyceae, whereas with *E. crassipes*, phytoplankton biomass was independent of snail density and was co-dominated by Cryptophyceae, Chlorophyceae and Bacillariophyceae (Fang et al., 2010). Although the experiments were conducted over a relatively short time period (about 1 month), the authors suggest that herbivory by apple snails does not necessarily lead to a shift from clear to turbid water. Further mesocosm studies could help clarify the potential effects of apple snails on nutrient dynamics in tropical wetlands and determine factors governing the severity of their impact.

6. Effects in agricultural wetlands

Rice, taro and several aquatic vegetables are produced in artificial or managed wetlands. During periods when the crops are flooded, water moves over the fields, generally in a systematic manner determined by proximity to irrigation sources, topography and the opening or closing of sumps and gates (Goodell, 1984). Agricultural wetlands are characterized by the dominance of a single or few macrophyte crops, the biomass of which increases gradually over the growing season, often negatively affecting associated flora and benthic fauna and by short pulses of nutrients in the form of chemical or organic fertilizers (Simpson et al., 1994a). Apple snails have successfully invaded these agricultural wetlands causing considerable economic losses by feeding on young rice plants and other aquatic crops. For example, Naylor (1996) estimated that *P. canaliculata* had caused accumulated losses of over US\$1200 million to rice farmers in the Philippines during the first ten years after its introduction. Apart from direct losses caused to rice production, the invasive apple snails have led to phenomenal increases in pesticide use. For example in the Philippines, molluscicide purchases increased from less than 10 kg in the early 1980s (before the snails were introduced) to about 242,000 kg in 1997 (Adalla and Magsino, 2006). Massive molluscicide inputs at rice planting stages will undoubtedly have major effects on native snails

and other fauna and may be the direct cause of declines in several native benthic species. For example, niclosamide and methaldehyde reduce the richness and biomass of decomposer fly communities and could directly affect ecosystem functioning by delaying carcass decomposition (Horgan unpublished).

In some cases, the successful invasion of *P. canaliculata* and *P. maculata* into agricultural wetlands may be due to the higher nutritional value and lower defenses of agricultural crops such as *Amaranthus gangeticus* L. (Amaranth), *Apium graveolens dulce* D.C. (Chinese celery), *Ipomea aquatica* Forsk. (water spinach) and *Nasturtium officinale* R. Br. (watercress) (Qiu and Kwong, 2009). However, rice and taro, are apparently less palatable (Qiu and Kwong, 2009). This suggests that the extent and availability of habitat as well as currents in irrigation channels that direct snails toward the fields are principal determinants of apple snail presence and densities in crops. Fertilizers cause punctual changes in soil and floodwater chemistry: Broadcast applications of nitrogen fertilizer increase photosynthesis levels and pH in the floodwater, increase primary productivity (including periphyton and phytoplankton productivity), reduce the biomass of nitrogen-fixing algae, and reduce concentrations of dissolved CO₂ (Mikkelsen et al., 1978; Simpson et al., 1994b). The resulting high O₂ demand can create anoxic conditions in the floodwater at night (Saito and Watanabe, 1978). These pulses in primary productivity are rapid and of short duration, but can cause lasting changes in benthic communities (Simpson et al., 1994a,b). Populations of benthic organisms that use gills for respiration and are dependent on dissolved O₂ (i.e. *Melanoidea* spp.) are expected to decline under such conditions. Some apple snails may use aerial respiration to survive nutrient pulses, and could consequently benefit from sudden increases in primary productivity and the palatable new growth of macrophytes and algae. Although high nitrogen appears to negatively affect *P. canaliculata* causing high mortality during the first few days after application (De La Cruz et al., 2001), it is still unknown whether assimilated nitrogen in plants could later benefit the snails. High nitrogen levels in the soil may also increase plant tolerance to snail damage and allow plants to more rapidly escape from the vulnerable seedling stages (personal observations). These pulse dynamics, together with highly variable water depths that are determined by irrigation, and consequent synchronized emergence of estivating adult and juvenile snails probably contribute to the sudden, large, and short-term increases in apple snail populations in managed habitats (i.e., *P. maculata*: Burlakova et al., 2009). In rice fields, once the vulnerable crop stages have passed (i.e., >30 days in rice), apple snails (i.e., *P. canaliculata*) can be considered beneficial bio-weeders (Joshi et al., 2006; Hidaka et al., 2007). However, such periods, where the snails appear innocuous to farmers, may be important recruitment periods where emergent plants in the form of rice and taro are used for egg laying and abundant epiphytic algae sustain hatchlings.

7. Recommendations – toward a unifying framework for research in natural and agricultural ecosystems

It appears from Tables 1–3 and the related discussion that, although 14 species of apple snails have been introduced to new habitats, only four species (*M. cornuarietis*, *P. canaliculata*, *P. glauca* and *P. maculata*) have attained high densities over large or localized areas with noted impacts. There have also been reports of damage to rice by each of these species (Joshi and Sebastian, 2006; Cowie, 2002). Research on the impact of apple snails in agricultural and natural wetland ecosystems rarely overlaps. Of the several documents generated over the past 30 years since their initial catastrophic outbreaks in South East Asia, only very few have compared aspects of snail ecology in both natural and agricultural habitats

(but see Burlakova et al., 2009). Wetland habitats are not isolated but gradually merge into one another. Water moves from natural to managed habitats and vice versa and this can transport snails (Lewis and Magnuson, 2000; Ichinose and Yoshida, 2001). Furthermore, in Asia, irrigated rice is the most extensive wetland habitat (Khush, 1997), such that activities in rice fields will affect many adjacent and connected natural wetlands. Landscape approaches that focus on watershed regions are therefore necessary for an improved understanding and management of apple snails. Of particular interest is the possible recruitment of snails in agricultural habitats as sources of invaders for natural wetlands. In effect, rice fields may represent efficient nurseries for the snails, that also reduce potential predators and competitors where molluscicides and other pesticides are applied. The effects of high nutrient levels in wetland systems have been well documented, and the role of snail herbivores in shifting water toward turbidity seems probable. Whereas few mesocosm studies have been conducted to represent natural habitat, experiments in the management of snail damage in rice fields do represent simplified habitats and indicate how apple snails can alter macrophyte communities. What is still poorly understood is whether snails are likely to avoid high nutrient waters, which would represent a beneficial negative feedback mechanism, or whether the snails, because of their robust habits, continue to drive wetlands toward a more heavily perturbed state. Preliminary observations from agricultural systems suggest that apple snails are attracted to high nutrient fields and patches (Horgan and Stuart, unpublished), suggesting that chemical fertilizers increase snail biomass and accelerate invasion and spread. Further research on the dynamics and movement of water, nutrients and snails in agricultural and natural wetlands would help determine the consequences of apple snail invasions at landscape and regional levels.

Acknowledgments

Financial support for this research was through a Global Rice Science Partnership (GRISP) fund. We thank two anonymous reviewers for several helpful suggestions and comments that improved the manuscript and Ken Hayes (Center for Conservation Research and Training, University of Hawaii) for reviewing the species names used in the manuscript and providing up to date information on snail taxonomy and distribution.

References

- Adalla, C.B., Magsino, E.A., 2006. Understanding the golden apple snail (*Pomacea canaliculata*): biology and early initiatives to control the pest in the Philippines. In: Joshi, R.C., Sebastian, L.S. (Eds.), *Global Advances in Ecology and Management of Golden Apple Snails*. Philippines Rice Research Institute, Nueva Ecija, Philippines, pp. 199–214.
- Aditya, G., Raut, S.K., 2001. Food of the snail, *Pomacea bridgesii*, introduced into India. *Current Science* 80, 919–921.
- Aditya, G., Raut, S.K., 2002. Destruction of *Indoplanorbis exustus* (Planorbidae) eggs by *Pomacea bridgesii* (Ampullariidae). *Molluscan Research* 22, 87–90.
- Ampong-Nyarko, K., De Datta, S.K., 1991. *A Handbook for Weed Control in Rice*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Angehr, G.R., 1999. Rapid long-distance apple colonization of Lake Gatun, Panama, by Snail Kites. *The Wilson Bulletin* 111, 265–268.
- Arango, C.P., Riley, L.A., Tank, J.L., Hall Jr., R.O., 2009. Herbivory by an invasive snail increases nitrogen fixation in a nitrogen-limited stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 66, 1309–1317.
- Baker, P., Zimmanck, F., Baker, S.M., 2010. Feeding rates of an introduced freshwater gastropod *Pomacea insularum* on native and nonindigenous aquatic plants in Florida. *Journal of Molluscan Studies* 76, 138–143.
- Baloch, W.A., Memon, U.N., Burdi, G.H., Soomro, A.N., Tunio, G.R., Khatian, A.A., 2012. Invasion of channeled apple snail *Pomacea canaliculata*, Lamarck (Gastropoda: Ampullariidae) in Haleji Lake, Pakistan. *Sindh University Research Journal (Science Series)* 44, 263–266.
- Barcelo, P.M., Barcelo, J.R., 1988. The potential of snail (*Pila leopoldvillensis*) meat as protein supplement in broiler diets. *Tropicultura* 9, 11–13.
- Barnes, M.A., Fordham, R.K., Burks, R.L., 2008. Fecundity of the exotic applesnail, *Pomacea insularum*. *Journal of the North American Benthological Society* 27, 738–745.
- Basilio, R., 1991. Problem of golden snail infestation in rice farming. In: Acosta, B.O., Pullin, R.S.V. (Eds.), *Environmental Impact of Golden Apple Snail (Pomacea sp.) on Rice Farming Systems in the Philippines*. International Centre for Living Aquatic Resources Management, pp. 11–12. Conference Proceedings No. 28 Manila, Philippines.
- Beissinger, S.R., 1983. Hunting behavior, prey selection, and energetics of snail kite in Guyana: consumer choice by a specialist. *Auk* 100, 84–92.
- Boland, B.B., Meerhoff, M., Fosalba, C., Mazzeo, N., Barnes, M.A., Burks, R.L., 2008. Juvenile snails, adult appetites: contrasting resource consumption between two species of applesnails (*Pomacea*). *Journal of Molluscan Studies* 74, 47–54.
- Brönmark, C., 1985. Fresh water snail diversity – effects of pond area, habitat heterogeneity and isolation. *Oecologia* 67, 127–131.
- Burlakova, L.E., Karatayev, A.Y., Padilla, D.K., Cartwright, L.D., Hollas, D.N., 2009. Wetland restoration and invasive species: apple snail (*Pomacea insularum*) feeding on native and invasive aquatic plants. *Restoration Ecology* 17, 433–440.
- Burlakova, L.E., Padilla, D.K., Karatayev, A.Y., Hollas, D.N., Cartwright, L.D., Nichols, K.D., 2010. Differences in population dynamics and potential impacts of a freshwater invader driven by temporal habitat stability. *Biological Invasions* 12, 927–941.
- Burks, R.L., Kyle, C.H., Trawick, M.K., 2010. Pink eggs and snails: field oviposition patterns indicate shallow aquatic systems susceptible to invasion by *Pomacea insularum*. *Hydrobiologia* 646, 243–251.
- Carlsson, N.O.L., Brönmark, C., 2006. Size-dependent effects of an invasive herbivorous snail (*Pomacea canaliculata*) on macrophytes and periphyton in Asian wetlands. *Freshwater Biology* 51, 695–704.
- Carlsson, N.O.L., Brönmark, C., Hansson, L.A., 2004. Invading herbivory: the golden apple snail alters ecosystem functioning in Asian wetlands. *Ecology* 85, 1575–1580.
- Carlsson, N.O.L., Lacoursière, J.O., 2005. Herbivory on aquatic vascular plants by the introduced golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) in Lao PDR. *Biological Invasions* 7, 233–241.
- Cattau, C.E., Martin, J., Kitchens, W.M., 2010. Effects of an exotic prey species on a native specialist: example of the snail kite. *Biological Conservation* 143, 513–520.
- Cazzaniga, N.J., 1990. Predation of *Pomacea canaliculata* (Ampullariidae) on adult *Biomphalaria peregina* (Planorbidae). *Annals of Tropical Medicine and Parasitology* 84, 97–100.
- Cazzaniga, N.J., Estebenet, A.L., 1984. Revisión y notas sobre los hábitos alimentarios de los Ampullariidae (Gastropoda). *Historia Natural* 22, 213–224.
- Chapman, V.J., Brown, J.M.A., Hill, C.F., Carr, J.L., 1974. Biology of excessive weed growth in the hydro-electric lakes of the Waikato River, New Zealand. *Hydrobiologia* 44, 349–363.
- Coelho, A.R.A., 2012. Freshwater snail *Pomacea bridgesii* (Gastropoda: Ampullariidae), life history traits and aquaculture potential. *AACL Bioflux* 5, 168–181.
- Colloer, K.J., Demetras, N.J., Duggan, I.C., Johnson, T.M., 2011. Wild record of an apple snail in the Waikato River, Hamilton, New Zealand and their incidence in freshwater aquaria. *New Zealand Natural Sciences* 36, 1–9.
- Conner, S.L., Pomory, C.M., Darby, P.C., 2008. Density effects of native and exotic snails on growth in juvenile apple snails *Pomacea paludosa* (Gastropoda: Ampullariidae): a laboratory experiment. *Journal of Molluscan Studies* 74, 355–362.
- Cooke, G.M., King, A.G., Miller, L., Johnson, R.N., 2012. A rapid molecular method to detect the invasive golden apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck, 1822). *Conservation Genetics Resources* 4, 591–593.
- Cowie, R.H., 2001. Can snails ever be effective and safe biocontrol agents? *International Journal of Pest Management* 47, 23–40.
- Cowie, R.H., 2002. Apple snails (Ampullariidae) as agricultural pests: their biology, impacts and management. In: Barker, G.M. (Ed.), *Molluscs as Crop Pests*. CAB International, pp. 145–189.
- Cowie, R.H., Hayes, K.A., 2012. Apple snails. In: Francis, R.A. (Ed.), *A Handbook of Global Freshwater Invasive Species*. Earthscan, London and New York, pp. 207–221.
- Cowie, R.H., Thiengo, S.C., 2003. The apple snails of the Americas (Mollusca: Gastropoda: Ampullariidae: *Asolene*, *Felipponea*, *Marisa*, *Pomacea*, *Pomella*): a nomenclatural and type catalog. *Malacologia* 45, 41–100.
- Cruz-García, G.S., Price, L.L., 2011. Ethnobotanical investigation of 'wild' food plants used by rice farmers in Kalasin, Northern Thailand. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 7, 33e.
- Damborenea, C., Brusa, F., Paola, A., 2006. Variation in worm assemblages associated with *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda, Ampullariidae) in sites near the Rio de la Plata estuary, Argentina. *Biocell* 30, 457–468.
- Dana, P., Appleton, C.C., 2007. Observations on the population dynamics of the invasive freshwater snail *Aplexa marmorata* (Pulmonata: Physidae) in Durban, South Africa. *South African Journal of Science* 103, 493–496.
- Darby, P.C., Bennetts, R.E., Miller, S.J., Percival, H.F., 2002. Movements of Florida apple snails in relation to water levels and drying events. *Wetlands* 22, 489–498.
- Darby, P.C., Bennetts, R.E., Percival, H.F., 2008. Dry down impacts on apple snail (*Pomacea paludosa*) demography: implications for wetland water management. *Wetlands* 28, 204–214.
- De La Cruz, M.S., Joshi, R.C., Martin, A.R., 2001. Basal application of fertilizer reduces golden apple snail population. *International Rice Research Notes* 26, 20–21.
- De Lara, A.V., 2003. Comparative Life History Patterns of Two Economically Important Apple Snails. Published abstract, Metro Manila Commission Professional Chair Lecture, Laguna, Philippines.

- De Nie, H.W., 1987. The Decrease in Aquatic Vegetation in Europe and its Consequences for Fish Populations. EIFAC/CECP Occasional Paper No. 19. FAO, Rome.
- Demian, E.S., Kamel, E.G., 1973. Effect of *Marisa cornuarietis* on *Bulinus truncatus* populations under semi-field conditions in Egypt. *Malacologia* 14, 439.
- Demian, E.S., Lutfy, R.G., 1966. Factors affecting the predation of *Marisa cornuarietis* on *Bulinus B. truncatus*, *Biomphalaria alexandrina* and *Lymnaea caillaudi*. *Oikos* 17, 212–230.
- Dong, S., Shentu, X., Pan, Y., Bai, X., Yu, X., Wang, H., 2011. Evaluation of genetic diversity in the golden apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck), from different geographical populations in China by inter simple sequence repeat (ISSR). *African Journal of Biotechnology* 10, 1777–1783.
- Engelhardt, K.A.M., Ritchie, M.E., 2001. Effects of macrophyte species richness on wetland ecosystem functioning and services. *Nature* 411, 687–689.
- Estebenet, A.L., 1995. Food and feeding in *Pomacea canaliculata* (Gastropoda, Ampullariidae). *Veliger* 38, 277–283.
- Estebenet, A.L., Cazzaniga, N.J., 1992. Growth and demography of *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) under laboratory conditions. *Malacological Review* 25, 1–12.
- Estebenet, A.L., Cazzaniga, N.J., 1998. Sex-related differential growth in *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae). *Journal of Molluscan Studies* 64, 119–123.
- Estebenet, A., Martin, P., 2002a. *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae): life-history. *Biocell* 26, 83–89.
- Estebenet, A.L., Martin, P.R., 2002b. *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae): life-history traits and their plasticity. *Biocell* 26, 83–89.
- European Food Safety Authority, 2012. Scientific opinion on the evaluation of the pest risk analysis of *Pomacea insularum*, the island apple snail, prepared by the Spanish Ministry of Environment and Rural and Marine Affairs. EFSA Journal 10, 2552e.
- Fang, L., Wong, P.K., Lin, L., Lan, C., Qiu, J.W., 2010. Impact of invasive apple snails in Hong Kong on wetland macrophytes, nutrients, phytoplankton and filamentous algae. *Freshwater Biology* 55, 1191–1204.
- Fellerhoff, C., 2002. Feeding and growth of apple snail *Pomacea lineata* in the Pantanal wetland, Brazil – a stable isotope approach. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 38, 227–243.
- França, R.S., Suriani, A.L., Rocha, O., 2007. Composição das espécies de moluscos bentônicos nos reservatórios do baixo rio Tietê (São Paulo, Brasil) com uma avaliação do impacto causado pelas espécies exóticas invasoras. *Revista Brasileira de Zoologia* 24, 41–51.
- Gettys, L.A., Haller, W.T., Mudge, C.R., Koschnick, T.J., 2008. Effect of temperature and feeding preference on submerged plants by the island apple snail, *Pomacea insularum* (d'Orbigny, 1839) (Ampullariidae). *Veliger* 50, 248–254.
- Goodell, G.E., 1984. Bugs, bunds, banks, and bottlenecks: organizational contradictions in the new rice technology. *Economic Development and Cultural Change* 33, 23–41.
- Guimarães, C.T., 1983. Controle biológico: *Pomacea haustorium* Reeve, 1856 (Mollusca, Piliidae) sobre planorbíneos, em laboratório. *Revista de Saúde Pública* 17, 138–147.
- Gunderson, L.H., 2000. Ecological resilience – in theory and application. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31, 425–439.
- Hall Jr., R.O., Tank, J.L., Dybdahl, M.F., 2003. Exotic snails dominate nitrogen and carbon cycling in a highly productive stream. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1, 407–411.
- Hall, R.O., Dybdahl, M.F., Vanderloop, M.C., 2006. Extremely high secondary production of introduced snails to rivers. *Ecological Applications* 16, 1121–1131.
- Halwart, M., 1994. The golden apple snail, *Pomacea canaliculata* in Asian rice farming systems: present impact and future threat. *International Journal of Pest Management* 40, 199–206.
- Hansson, L.A., 1992. The role of food chain composition and nutrient availability in shaping algal biomass development. *Ecology* 73, 241–247.
- Hansson, L.A., Annadotter, H., Bergman, E., Hamrin, S.F., Jeppesen, E., Kairesalo, T., Luokkanen, E., Nilsson, P.A., Sondergaard, M., Strand, J.A., 1998. Biomanipulation as an application of food chain theory: constraints, synthesis, and recommendations for temperate lakes. *Ecosystems* 1, 1–19.
- Hansson, L.A., Johansson, L., Persson, L., 1987. Effects of fish grazing on nutrient release and succession of primary producers. *Limnology and Oceanography* 32, 723–729.
- Hargeby, A., Blindow, I., Hansson, L.A., 2004. Shifts between clear and turbid states in a shallow lake: multi-causal stress from climate, nutrients and biotic interactions. *Archives in Hydrobiology* 161, 433–454.
- Hayes, K.A., Joshi, R.C., Thiengo, S.C., Cowie, R.H., 2008. Out of South America: multiple origins of non-native apple snails in Asia. *Diversity and Distributions* 14, 701–712.
- Hayes, K.A., Cowie, R.H., Thiengo, S.C., Strong, E.E. Comparing apples to apples: clarifying the identities of two highly invasive Neotropical Ampullariidae (Caenogastropoda). *Zoological Journal of the Linnean Society*, in press.
- Hidaka, K., Mineta, T., Tokuoka, M., 2007. Impact evaluation of apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck) invasion on vascular plant flora in rice fields: some notes in a case of rice fields using conventional herbicides in Matsuyama City. *Journal of the Rural Planning Association* 2, 46–55 (in Japanese).
- Hofkin, B.V., Stryker, G.A., Koech, D.K., Loker, E.S., 1991. Consumption of *Biomphalaria glabrata* egg masses and juveniles by the ampullariid snails *Pila ovata*, *Lanistes carinatus* and *Marisa cornuarietis*. *Acta Tropica* 49, 37–44.
- Hollingsworth, R.G., Cowie, R.H., 2006. Apple snails as disease vectors. In: Joshi, R.C., Sebastian, L.S. (Eds.), *Global Advances in Ecology and Management of Golden Apple Snails*. Philippine Rice Research Institute, Nueva Ecija, pp. 121–132.
- Horn, K.C., Johnson, S.D., Boles, K.M., Moore, A., Siemann, E., Gable, C.A., 2008. Factors affecting hatching success of golden apple snail eggs: effects of water immersion and cannibalism. *Wetlands* 28, 544–549.
- Horne, F.R., Arsuuffi, T.L., Neck, R.W., 1992. Recent introduction and potential botanical impact of the giant rams-horn snail, *Marisa cornuarietis* (Piliidae), in the Comal Springs ecosystem of central Texas. *The Southwestern Naturalist* 37, 194–214.
- Howells, R.G., Burlakova, L.E., Karatayev, A.Y., Marfurt, R.K., Burks, R.L., 2006. Native and introduced Ampullariidae in North America: history, status, and ecology. In: Joshi, R., Sebastian, L. (Eds.), *Global Advances in Ecology and Management of Golden Apple Snails*. Philippine Rice Research Institute, Nueva Ecija, Philippines, pp. 73–112.
- Ichinose, K., Yoshida, K., 2001. Distribution of apple snails, related to rice field distribution and water flow. *Kyushu Plant Protection Research* 47, 77–81 (in Japanese).
- Jobin, W.R., 1970. Population dynamics of aquatic snails in three farm ponds in Puerto Rico. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 19, 1038–1048.
- Jobin, W.R., Ferguson, F.F., Berrios-Duran, L.A., 1973. Effects of *Marisa cornuarietis* on populations of *B. glabrata* in farm ponds in Puerto Rico. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 22, 278–284.
- Jahan, S., Akter, S., Sarker, M., Rahman, R., Pramanik, N., 2001. Growth ecology of *Pila globosa* (Swainson) (Gastropoda: Piliidae) in simulated habitat. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 4, 581–584.
- Joshi, R.C., 2007. Problems with the management of the golden apple snail *Pomacea canaliculata*: an important exotic pest of rice in Asia. In: Vreysen, M.J.B., Robinson, A.S., Hendrichs, J. (Eds.), *Area-wide Control of Insect Pests*. IAEA, pp. 257–264.
- Joshi, R.C., Martin, E.C., Wada, T., Sebastian, L.S., 2006. Role of golden apple snail in organic rice cultivation and weed management. In: Joshi, R.C., Sebastian, L.S. (Eds.), *Global Advances in Ecology and Management of Golden Apple Snails*. Philippine Rice Research Institute, Nueva Ecija, pp. 483–488.
- Joshi, R.C., Sebastian, L.S., 2006. Global Advances in Ecology and Management of Golden Apple Snails. Philippine Rice Research Institute, Nueva Ecija, Philippines.
- Karunaratne, L.B., Darby, P.C., Bennetts, R.E., 2006. The effects of wetland habitat structure on Florida apple snail density. *Wetlands* 26, 1143–1150.
- Khush, G.S., 1997. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. *Plant Molecular Biology* 35, 25–34.
- Kosaka, Y., Takeda, S., Sithirajvongsa, S., Xaydaia, K., 2006. Plant diversity in paddy fields in relation to agricultural practices in Savannakhet Province, Laos. *Economic Botany* 60, 49–61.
- Kruatrachue, M., Upatham, E.S., 1993. Biological control of schistosomiasis-mediating snails in Thailand: simulated field experiments. *Journal of Medical and Applied Malacology* 5, 117–128.
- Kwong, K.L., Chan, R.K.Y., Qiu, J.W., 2009. The potential of the invasive snail *Pomacea canaliculata* as a predator of various life-stages of five species of freshwater snails. *Malacologia* 51, 343–356.
- Kwong, K.L., Dudgeon, D., Wong, P.K., Qiu, J.W., 2010. Secondary production and diet of an invasive snail in freshwater wetlands: implications for resource utilization and competition. *Biological Invasions* 12, 1153–1164.
- Kyle, C.H., Kropf, A.W., Burks, R.L., 2011. Prime waterfront real estate: apple snails choose wild taro for oviposition sites. *Current Zoology* 57, 630–641.
- Lach, L., Britton, D.K., Rundell, R.J., Cowie, R.H., 2000. Food preference and reproductive plasticity in an invasive freshwater snail. *Biological Invasions* 2, 279–288.
- Lam, P.K.S., 1994. Interspecific life-history variation in *Radix plicatulus* (Gastropoda: Pulmonata: Lymnaeidae). *Journal of Zoology (London)* 232, 435–446.
- Letelier, V.S., Ramos, L.A.M., Huaquin, M.L.G., 2007. Exotic freshwater mollusks in Chile. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78, 1870–3453.
- Levin, P., Cowie, R.H., Taylor, J.M., Hayes, K.A., Burnett, K.M., Ferguson, C.A., 2006. Apple snail invasions and the slow road to control: ecological, economic, agricultural, and cultural perspectives in Hawaii. In: Joshi, R.C., Sebastian, L.S. (Eds.), *Global Advances in Ecology and Management of Golden Apple Snails*. Philippines Rice Research Institute, Nueva Ecija, Philippines, pp. 325–336.
- Lewis, D.B., Magnuson, J.J., 2000. Landscape spatial patterns in freshwater snail assemblages across northern highland catchments. *Freshwater Biology* 43, 409–420.
- Li, K.Y., Liu, Z.W., Hu, Y.H., Yang, H.W., 2009. Snail herbivory on submerged macrophytes and nutrient release: implications for macrophyte management. *Ecological Engineering* 35, 1664–1667.
- Litsinger, J.A., Estano, D.B., 1993. Management of the golden apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck) in rice. *Crop Protection* 2, 363–370.
- Lopes, H.S., 1956. Sobre '*Pomacea lineata*' (Spix, 1827) (Mesogastropoda, Architaenioglossa, Mollusca). *Revista Brasileira de Biologia* 16, 375–380.
- Luna Maldonado, A.I., Nakaji, K., 2008. Development of an intelligent robot for an agricultural production ecosystem – new concept of robot and dynamics of a golden apple snail in paddy. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* 53, 115–119.
- Lv, S., Zhang, Y., Liu, H.-X., Hu, L., Yang, K., Steinmann, P., Chen, Z., Wang, L.-Y., Utzinger, J., Zhou, X.-N., 2009. Invasive snails and an emerging infectious disease: results from the first national survey on *Angiostrongylus cantonensis* in China. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 3 (2), e368.
- Macek, P., Rejmánková, E., Fuchs, R., 2009. Biological activities as patchiness driving forces in wetlands of northern Belize. *Oikos* 118, 1687–1694.
- Mandal, B., Vlek, P.L.G., Mandal, L.N., 1999. Beneficial effects of blue–green algae and Azolla, excluding supplying nitrogen, on wetland rice fields: a review. *Biology and Fertility of Soils* 8, 329–342.

- Marambe, B., Amarasinghe, L., Gamage, G., 2003. Sri Lanka. In: Pallewatta, N., Reaser, J.K., Gutierrez, A.T. (Eds.), *Invasive Alien Species in South-South East Asia: National Reports and Directory of Resources*, pp. 91–103. Global Invasive Species Program.
- Matsukura, K., Okuda, M., Kubota, K., Wada, T., 2008. Genetic divergence of the genus *Pomacea* (Gastropoda: Ampullariidae) distributed in Japan, and a simple molecular method to distinguish *P. canaliculata* and *P. insularum*. *Applied Entomology and Zoology* 43, 535–540.
- Mikkelsen, D.S., De Datta, S.K., Obcemea, W., 1978. Ammonia volatilization losses from flooded rice soils. *Soil Science Society of America Journal* 42, 725–730.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., 2007. *Wetlands*, fourth ed. John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
- Mochida, O., 1987. *Pomacea* snails in the Philippines. *International Rice Research Newsletter* 12, 48–49.
- Morrison, W.E., Hay, M.E., 2011a. Feeding and growth of native, invasive and non-invasive alien apple snails (Ampullariidae) in the United States: invasives eat more and grow more. *Biological Invasions* 13, 945–955.
- Morrison, W.E., Hay, M.E., 2011b. Induced chemical defenses in a freshwater macrophyte suppress herbivore fitness and the growth of associated microbes. *Oecologia* 165, 427–436.
- Morrison, W.E., Hay, M.E., 2011c. Herbivore preference for native vs. exotic plants: generalist herbivores from multiple continents prefer exotic plants that are evolutionary naïve. *PLoS ONE* 6, e17227.
- Naylor, R., 1996. Invasions in agriculture: assessing the cost of the golden apple snail in Asia. *Ambio* 25, 443–448.
- Nguma, J.F.M., McCullough, F.S., Masha, E., 1982. Elimination of *Biomphalaria pfeifferi*, *Bulinus tropicus*, and *Lymnaea natalensis* by the ampullariid snail *Marisa cornuarietis* in a man-made dam in northern Tanzania. *Acta Tropica* 39, 85–90.
- Pedroso Dias, R.J., D'ávila, S., Wieloch, A.H., D'Agosto, M., 2008. Protozoan ciliate epibionts on the freshwater apple snail *Pomacea figulina* (Spix, 1827) (Gastropoda, Ampullariidae) in an urban stream of south-east Brazil. *Journal of Natural History* 42, 1409–1420.
- Petr, T., 2000. Interactions Between Fish and Aquatic Macrophytes in Inland Waters. FAO Fisheries Technical Paper 396. Food and Agriculture Organisation, Rome, Italy.
- Pinowska, A., 2002. Effects of snail grazing and nutrient release on growth of the macrophytes *Ceratophyllum demersum* and *Elodea canadensis* and the filamentous green alga *Cladophora* sp. *Hydrobiologia* 479, 83–94.
- Pointer, J.P., 2001. Invading freshwater snails and biological control in Martinique Island, French West Indies. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 96, 67–74.
- Pointer, J.P., Augustin, D., 1999. Biological control and invading freshwater snails: a case study. *Life Sciences* 322, 1093–1098.
- Pointer, J.P., David, P., 2004. Biological control of *Biomphalaria glabrata*, the intermediate host of schistosomes, by *Marisa cornuarietis* in ponds of Guadeloupe: long-term impact on the local snail fauna and aquatic flora. *Biological Control* 29, 81–89.
- Pointer, J.P., Théron, A., Imbert-Establet, D., Borel, G., 1991. Eradication of a sylvatic focus of *Schistosoma mansoni* using biological control by competitor snails. *Biological Control* 1, 244–247.
- Qiu, J.-W., Chan, M.T., Kwong, K.L., Sun, J., 2011. Consumption, survival and growth in the invasive freshwater snail *Pomacea canaliculata*: does food freshness matter? *Journal of Molluscan Studies* 77, 189–195.
- Qiu, J.-W., Kwong, K.-L., 2009. Effects of macrophytes on feeding and life-history traits of the invasive apple snail *Pomacea canaliculata*. *Freshwater Biology* 54, 1720–1730.
- Raut, S.K., Aditya, G., 1999. Occurrence of golden mystery snail *Pomacea bridgesii* (Gastropoda: Ampullariidae) in West Bengal, India. *Current Science* 77, 1389–1390.
- Rawlings, T.A., Hayes, K.A., Cowie, R.H., Collins, T.M., 2007. The identity, distribution, and impacts of non-native apple snails in the continental United States. *BMC Evolutionary Biology* 7, 97e.
- Reed, W.L., Janzen, F.J., 1999. Natural selection by avian predators on size and colour of freshwater snail. *Biological Journal of the Linnean Society* 67, 331–342.
- Saito, M., Watanabe, I., 1978. Organic matter production in rice field flood water. *Soil Science and Plant Nutrition* 24, 427–440.
- Scheffer, M., Hosper, S.H., Meijer, M.-L., Moss, B., Jeppesen, E., 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution* 8, 275–279.
- Seaman, D.E., Porterfield, W.A., 1964. Control of aquatic weeds by the snail *Marisa cornuarietis*. *Weeds* 12, 87–92.
- Sharfstein, B., Steinman, A.D., 2001. Growth and survival of the Florida apple snail (*Pomacea paludosa*) fed three naturally occurring macrophyte assemblages. *Journal of North American Benthological Society* 20, 84–95.
- Shuford, R.B.E., McCormick, P.V., Magson, J., 2005. Habitat related growth of juvenile Florida applesnails (*Pomacea paludosa*). *Florida Scientist* 68, 11–19.
- Simberloff, D., Von Holle, B., 1999. Positive interactions of non-indigenous species: invasional meltdown? *Biological Invasions* 1, 21–32.
- Simpson, I.C., Roger, P.A., Oficial, R., Grant, I.F., 1994a. Effects of nitrogen fertilizer and pesticide management on floodwater ecology in a wetland ricefield. III. Dynamics of benthic molluscs. *Biology and Fertility of Soils* 18, 219–227.
- Simpson, I.C., Roger, P.A., Oficial, R., Grant, I.F., 1994b. Effects of nitrogen fertilizer and pesticide management on floodwater ecology in a wetland ricefield: I. Experimental design and dynamics of the photosynthetic aquatic biomass. *Biology and Fertility of Soils* 17, 129–137.
- Stryker, G.A., Koech, D.K., Loker, E.S., 1991. Growth of *Biomphalaria glabrata* populations in the presence of the ampullariid snails *Pila ovata*, *Lanistes carinatus* and *Marisa cornuarietis*. *Acta Tropica* 49, 137–147.
- Tamburi, N.E., Martin, P.R., 2009. Reaction norms of size and age at maturity of *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) under a gradient of food deprivation. *Journal of Molluscan Studies* 75, 19–26.
- Thaewnon-ngiw, B., Lauhachinda, N., Sri-Aroon, P., Lohachit, C., 2003. Distribution of *Pila polita* in a southern province of Thailand. *Southern Asia Journal of Tropical Medicine and Public Health* 34, 128–130.
- Tran, C.T., Hayes, K.A., Cowie, R.H., 2008. Lack of mitochondrial DNA diversity in invasive apple snails (Ampullariidae) in Hawaii. *Malacologia* 50, 351–357.
- Thomas, K.J., 1975. Biological control of Salvinia by the snail *Pila globosa* Swainson. *Biological Journal of the Linnean Society* 7, 243–247.
- United States Geological Survey, 2012. Nonindigenous Aquatic Species Database. <http://nas.er.usgs.gov/taxgroup/mollusks/default.aspx> (accessed 04.04.12).
- Van Donk, E., Van de Bund, W.J., 2002. Impact of submerged macrophytes including charophytes on phyto- and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms. *Aquatic Botany* 72, 263–274.
- Vega, I.A., Damborenea, M.C., Gamarra-Luques, C., Koch, E., Cueto, J.A., Castro-Vasquez, A., 2006. Facultative and obligate symbiotic associations of *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda, Ampullariidae). *Biocell* 30, 367–375.
- Wang, Z., Pei, Y., 2012. Ecological risk resulting from invasive species: a lesson from-riparian wetland rehabilitation. *Procedia Environmental Sciences* 13, 1798–1808.
- Williams, E.H., Bunkley-Williams, L., Liljestrom, C.G., Ortiz-Corps, E.A.R., 2001. A review of recent introductions of aquatic invertebrates in Puerto Rico and implications for the management of nonindigenous species. *Caribbean Journal of Science* 37, 246–251.
- Wiryareja, S., Tjoe-Awie, J.R., 2006. Golden apple snail: its occurrence and importance in Suriname's rice ecosystem. In: Joshi, R.C., Sebastian, L.S. (Eds.), *Global Advances in Ecology and Management of Golden Apple Snails*. Philippines Rice Research Institute, Nueva Ecija, Philippines, pp. 337–342.
- Wong, P.K., Kwong, K.L., Qiu, J.-W., 2009. Complex interactions among fish, snails and macrophytes: implications for biological control of an invasive snail. *Biological Invasions* 11, 2223–2232.
- Wong, P.K., Liang, Y., Liu, N.Y., Qiu, J.-W., 2010. Palatability of macrophytes to the invasive freshwater snail *Pomacea canaliculata*: differential effects of multiple plant traits. *Freshwater Biology* 55, 2023–2031.
- Wood, T.S., Anurakpongsatorn, P., Chaichana, R., Mahujchariyawong, J., Satapanajaru, T., 2006. Heavy predation on freshwater bryozoans by the golden apple snail, *Pomacea canaliculata* Lamarck, 1822 (Ampullariidae). *The Natural History Journal of Chulalongkorn University* 6, 31–36.
- Wu, J.-Y., Wu, Y.-T., Li, M.-C., Chiu, Y.-W., Liu, M.-Y., Liu, L.-L., 2011. Reproduction and juvenile growth of the invasive apple snails *Pomacea canaliculata* and *P. scalaris* (gastropoda: Ampullariidae) in Taiwan. *Zoological Studies* 50, 61–68.
- Yanygina, L.V., Kirillov, V.V., Zarubina, E.Y., 2010. Invasive species in the biocenosis of the cooling reservoir of Belovskaya power plant (southwest Siberia). *Russian Journal of Biological Invasions* 1, 50–54.