



Effekten på pH i jord av musselskal

Norea Persson

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för Biosystem och teknologi
Trädgårdsingenjör: odling - kandidatprogram
Alnarp 2024



Effekten på pH i jord av musselskal

Musselshells effect on pH in soil.

Norea Persson

Handledare: Hanna Williams, SLU, Institutionen för Biosystem och teknologi
Bitr. handledare: Niklas Hjelm, extern
Examinator: Anna-Karin Rosberg, SLU, Institutionen för Biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i Trädgårdsvetenskap
Kurskod: EX0844

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör: Odling - kandidatprogram
Kursansvarig inst.: Institutionen för Biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp
Utgivningsår: 2024

Nyckelord: blåmusslor, *Mytilus trossulus x edulis*, musselskal, kalciumkarbonat, kalk, pH

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för Biosystem och teknologi

Sammanfattning

Markförsurning pågår konstant till följd av naturliga och antropogena försurningsprocesser. Kalkning är ett verktyg för att höja markens pH-värde till optimala värden, vilket är essentiellt för att de grödor vi odlar ska trivas. Blåmusslans skal (*Mytilus trossulus x edulis*), består till över 90% av kalciumkarbonat vilket är samma kemiska sammansättning som den vanligaste kalkprodukten, kalkstensmjöl.

Syftet med studien var att undersöka effekten på pH-värdet i jord vid tillförelse av musselskalsmjöl i olika storleksfraktioner och givror, samt att jämföra effekten med den av kalkstensmjöl.

För att besvara frågeställningarna genomfördes ett experiment där kalkstensmjöl (>2mm), finmalet musselskalsmjöl (>0,25mm) och grovmalt musselskalsmjöl (0,63mm – 2mm) tillsattes med 1 eller 2 gram till krukor med 1 kg jord. 5 krukor per behandling testades under 12 veckor, där pH-värdet mättes var tredje vecka.

Resultatet indikerade att alla behandlingar hade en signifikant pH-höjande effekt. Ingen av givorna med finmalet musselskalsmjöl visade någon signifikant skillnad mot 2 gram kalkstensmjöl. Mellan behandlingarna 2 gram grovmalen kalkstensmjöl och 1 gram kalkstensmjöl fanns ingen signifikant skillnad. Den relativt korta tidsperioden är en begränsning i studien för att dra slutsatser kring den fulla kalkeffekten av behandlingarna. Slutsatsen var att musselskalsmjöl kan ersätta kalkstensmjöl för att i krukor höja jordens pH.

Nyckelord: blåmusslor, *Mytilus trossulus x edulis*, musselskal, kalciumkarbonat, kalk, pH

Abstract

Soil acidification is both a naturally and anthropogenically occurring process. Liming is a tool used to raise pH in soil to optimal levels, which is essential for most cultivated crops to thrive. The shell of the blue mussel (*Mytilus trossulus x edulis*) consists of more than 90% calcium carbonate, which has the same chemical composition as the most common lime product, pulverized limestone.

The purpose of this study was to examine the effect on the pH value in soil when adding ground mussel shells in different size fractions and doses, as well as to compare the effect with that of pulverized limestone.

To do this, an experiment was carried out where pulverized limestone (>2mm), coarsely ground mussel shells (0.63-2mm) and finely ground mussel shells (>0,25mm) were added at 1 or 2 grams into pots with 1 kg of soil. 5 pots per treatment were tested for 12 weeks, with the pH measured every three weeks.

The results show that all treatments had a pH-raising effect. None of the doses of finely ground mussel shells showed a significant difference against 2 grams of pulverized limestone. One limitation in the study was the relatively short time, limiting further conclusions of the full liming effect. In conclusion, ground mussel shells could replace pulverized limestone as a liming product to raise the pH of soil in pots.

Keywords: blue mussel, *Mytilus trossulus x edulis*, mussel shells, calcium carbonate, lime, pH

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	6
Figurförteckning	7
1. Introduktion.....	8
1.1 pH-värde och surhet i jord	8
1.1.1 Försurande processer i marken	9
1.2 Kalk.....	11
1.2.1 Kornstorlek och sammansättning av kalkningsmedel.....	11
1.2.2 Kalkbrytning.....	12
1.3 Östersjön och övergödning.....	12
1.4 Blåmusslor.....	13
1.4.1 Tungmetaller i musslor	13
1.4.2 Musslor som kalkningsmedel	14
1.5 Syfte, frågeställningar och hypotes	14
2. Material och metod.....	16
2.1 Försöksupplägg	16
2.2 Insamling och analys av jord	16
2.2.1 Rekommenderad giva CaCO ₃	17
2.3 Behandling.....	17
2.3.1 pH-mätning.....	19
2.4 Statistik	19
3. Resultat	20
3.1 Jämförelse av behandlingar.....	20
3.2 pH-värdets utveckling	22
4. Diskussion	23
4.1 Metoddiskussion	27
4.2 Potentiell kommersialisering av musselskalsmjöl	29
5. Slutsats	30
Referenser	31

Publicering och arkivering.....	35
---------------------------------	----

Tabellförteckning

Tabell 1: Beteckning och beskrivning av respektive behandling.....	18
--	----

Figurförteckning

- Figur 1: En bild på krukornas uppställning i en skyddande miljö mot fåglar och kraftig vind. Vardera färgprick representerar en behandling 18
- Figur 2: Stapeldiagram på alla behandlingar från pH-mätning 1, analyserat med ett Tukey-test. Staplar med olika bokstav är signifikant olika. Konfidensintervall är 95%. F1 = 1 gram finmalet musselskalsmjöl, G1 = 1 gram musselskalsmjöl, J1 = 1 gram jordbrukskalk, F2 = 2 gram finmalet musselskalsmjöl, G2 = 2 gram grovmalet musselskalsmjöl, J2 = 2 gram jordbrukskalk och K = kontrollgrupp. 20
- Figur 3: Stapeldiagram på alla behandlingar från pH-mätning 5. Ovanför staplarna finns en signifikansbokstav, från ett Tukey-test. Staplar som inte delar samma bokstav är signifikant olika. Konfidensintervall är 95%. F2 = 2 gram finmalet musselskalsmjöl, J2 = 2 gram jordbrukskalk, F1 = 1 gram finmalet musselskalsmjöl, J1 = 1 gram jordbrukskalk, G2 = 2 gram grovmalet musselskalsmjöl, G1 = 1 gram musselskalsmjöl och K = kontrollgrupp. 21
- Figur 4: Linjediagram som visar pH-förändring över tid, där en prick representerar behandlingens medelvärde vid pH-mätningstillfället. F2 = 2 gram finmalet musselskalsmjöl, J2 = 2 gram jordbrukskalk, F1 = 1 gram finmalet musselskalsmjöl, J1 = 1 gram jordbrukskalk, G2 = 2 gram grovmalet musselskalsmjöl, G1 = 1 gram musselskalsmjöl och K = kontrollgrupp. 22

1. Introduktion

Försurande processer pågår konstant i all mark i fuktigt klimat (Eriksson et al., 2011). Exempel på sådana processer är surt regn, utlakning av näringsämnen och rotandning (Eriksson et al., 2011). Det är essentiellt att marken har ett lämpligt pH-värde för de växter och grödor som ska odlas där (Magnusson, 2015). Kalk är ett verktyg som används för att höja och bibehålla markens pH-värde (Magnusson 2015). Brytning av kalksten, som är det vanligaste sättet för att utvinna kalk (Mattson, 2010), har länge varit debatterat då kalkbrotten kan ha en negativ påverkan på omgivande natur och vattendrag (Naturvårdsverket, 2023).

I takt med markförsurning står flera delar av Östersjön inför stora utmaningar med övergödning (Gustafsson & Arneborg 2020). Övergödning är en konsekvens av näringsläckage av närsalterna kväve och fosfor, från bland annat jordbrukssektorn, förbränningsmotorer och avloppsreningsverk (Gustafsson & Arneborg 2020). Musselodling i Östersjön har presenterats som en kompletterande lösning för att minska övergödning i Östersjön (Kiessling et al. 2019). Det beror på att musslor livnär sig genom att filtrera planktonorganismer och på så sätt kan binda upp nämnda näringsämnen från omkringliggande vatten (Linsén 2016). Musselskal är en restprodukt vid musselodling. Blåmusslans skal består till majoriteten av kalciumkarbonat, precis som kalksten (Olrog & Christensson 2003). Därav är det intressant att undersöka och jämföra musselskalmjöljs effekt på pH med kalkprodukt av ursprunget kalksten. Vid likvärdig effekt kan kalkprodukter av musselskal vara ett mer hållbart alternativ som potentiellt även kan skapa en större lönsamhet hos musselodlare.

1.1 pH-värde och surhet i jord

pH är den negativa logaritmen av vätejonkoncentrationen i mol, det vill säga $-\lg[H^+]$ och används för att mäta aktiviteten av vätejoner (H^+), surheten, i en marklösning (Eriksson et al., 2011). pH-skalan går från 0–14, där 7 är neutralt. Värden under 7 är sura och över 7 basiska. Det optimala pH-värdet i jord för den växt som ska växa där kan variera av olika anledningar (Magnusson, 2015). Det skiljer sig bland annat på jordens mullhalt och lerhalt, men i ett spann mellan pH 5,2 – 6,5 (Andersson et al., 2024). Tex. i en lättlera med mullhalt <6 %, är pH 6,3 optimalt. Mullfattiga jordar (<6% mullhalt) har generellt ett högre mål-pH än

mullrika jordar. Det beror på att mullrika jordar (>6% mullhalt) riskerar ökad mineralisering vid ökande pH. Även den kalkgiva som krävs för att höja pH-värdet skiljer sig mellan jordarter och mullhalt (Andersson et al., 2024). Ökningen av jordens pH sker genom jonbyten på markpartiklars yta (Eriksson et al., 2011). Humus- och lerpartiklar har en större specifik yta än exempelvis sandpartiklar. Ler och humuspartiklar har negativt laddade ytor (Eriksson et al., 2011). Den negativa laddningen från kolloidernas yta attraherar katjoner (positivt laddade joner). Baskatjoner är positivt laddade joner som bidrar till att buffra jorden och hålla pH-värdet uppe, i synnerhet Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} och K^+ (Mattsson, 2010). Flera av baskatjonerna är dessutom viktiga växtnäringsämnen. H^+ och Al^{3+} är också positivt laddade joner och kan tränga ut baskatjonerna från kolloidens yta, som sedan vid nederbörd lakas ut ur jorden. Försurande processer som tillför sura katjoner leder oftast till en nettoförlust av baskatjoner (Magnusson, 2015; Mattsson, 2010). Jord med hög mull- och lerhalt behöver därför en större kalkgiva för att Ca^{2+} -jonen i kalkmedlet ska byta ut de sura katjonerna på markpartiklarna.

En annan anledning till att ett lämpligt pH-värde är viktigt är därför att det påverkar olika näringsämnens växttillgänglighet (Magnusson, 2015). Både ett för högt pH och för lågt pH riskerar att orsaka näringsbrister, då olika näringsämnen är som mest tillgängliga för växter vid olika pH. I kraftigt kalkade jordar ökar risken för näringsbrist av bland annat fosfor, järn, magnesium, bor, mangan och zink. Ett för högt pH kan även öka risken för kväveförluster genom utlakning, denitrifikation och ammoniakavgång, samt kaliumfixering. Det är därför viktigt att kalkning enbart sker vid behov (Magnusson, 2015). Vid låga pH-värden ökar även aluminiums löslighet. Höga halter av aluminium i markvätska kan orsaka signifikant skada på växters rötter (Magnusson, 2015; Mattsson, 2010). Molybden blir mindre tillgängligt vid pH under 5. Dock, är det ovanligt med jordar med så lågt pH i Sverige (Magnusson, 2015). Ett mått på jordens maximala förmåga att binda katjoner är katjonbyteskapaciteten (CEC) (Eriksson et al., 2011). Basmättnadsgraden i en jord är ett mått på hur stor andel av CEC som består av baskatjoner. Basmättnadsgraden anges i procent. Ett högre pH i jorden indikerar att även basmättnadsgraden är högre, till följd av att det finns färre sura katjoner. Följaktligen innebär det även att vid låg basmättnadsgrad är marken försurad (Eriksson et al., 2011).

1.1.1 Försurande processer i marken

Att marken försuras är oundvikligt och sker i alla jordar i fuktigt klimat till följd av fysikaliska, kemiska och biologiska processer. Processerna är dels naturliga, dels antropogena (Eriksson et al., 2011).

Naturligt försurande processer

Vid nederbörd kan baskatjoner, som trängts ut från kolloiders yta av vätejoner och aluminiumjoner, lakas ut från jorden och kvar är en högre koncentration av de sura katjonerna (Mattsson, 2010). Därav, i områden där nederbörden är större än evapotranspirationen (den totala avdunstningen från mark och växter), det vill säga i fuktiga klimat som Sverige, försuras jordar i större utsträckning (Eriksson et al., 2011).

En annan försurande process är växters upptag av fler positiva joner än negativa (Eriksson et al., 2011). När katjoner tas upp av växten avges en vätejon per positiv laddning – växtupptaget av katjoner leder därför till biologisk försurning. Försurningen är enbart temporär om växten stannar på plats eftersom aciditeten kommer att förbrukas när växtmaterialet bryts ner av mikroorganismer igen. Om hela växten förs bort blir försurningen permanent (Eriksson et al., 2011).

Markförsurning av naturlig orsak sker också genom rötters och markorganismers respiration, när producerad CO₂ löses upp i markvätskan (Eriksson et al., 2011). CO₂ reagerar med vatten och kolsyra bildas. Vid pH 6,35 är hälften av kolsyran dissocierad i vätejoner och vätekarbonat. Vid pH under 5 är all kolsyra odissocierad, vilket innebär att den relativt svaga syran alltså bara kan försura jorden ner till pH 5 (Eriksson et al., 2011).

Organiska syror produceras vid nedbrytning av förna, vilka i sin tur kan dissociera till en vätejon och en karboxylatjon. Dessa syror kan sänka jordens pH lägre än kolsyran, till ca pH 3. Det är vätejonen och korresponderande anjon som är av betydelse för pH-värdets förändringar (Eriksson et al., 2011).

Antropogena försurande processer

Antropogen försurning är försurning orsakad av människan (Eriksson et al., 2011). Skörd och bortförsl av gröda från en åker, utan att grüngödsla efteråt, är ett exempel på process som leder till försurning (Eriksson et al., 2011). En annan antropogen försurande process är gödsling med gödselmedel som innehåller ammoniumjoner, som är vanligt i konventionella odlingar (Andersson et al., 2024). Nitrifikation av ammoniumjonen i jorden har dels en försurande effekt, dels kan det vara försurande när jonen tas upp av växter. Utsläpp från industri kan också ha en indirekt markförsurande effekt genom sur nederbörd (Andersson et al., 2024). Regnet blir surt när kväve- och svaveloxider i atmosfären omvandlas till svavelsyra och salpetersyra (Eriksson et al., 2011). Kväve- och svaveloxiderna kommer ifrån fabriker med olika förbränningsprocesser (Eriksson et al., 2011).

Syranneutraliserande förmåga

Markförsurning innebär däremot inte att alla jordar har ett lågt pH-värde eftersom jordar kan ha en syranneutraliserande förmåga (Eriksson et al., 2011). Olika buffrande processer har olika betydelse vid olika pH-intervall. Karbonatvittring är

en faktor som påverkar jordens syraneutraliserande förmåga och buffrar markens pH. Karbonatvittring buffrar markens pH genom att karbonatjonen neutraliserar vätejoner i ytterlösningen (Se 1.2 Kalk) och därmed bibehåller ytterlösningens pH (Eriksson et al., 2011). Den buffrande förmågan avtar dock i takt med att kalk vittrar, eftersom karbonatjonen lakas ut tillsammans med en vätejon, och med tiden kommer pH-värdet att sjunka givet att vätejons tillförseln är konstant. Exempel på buffrande processer utöver karbonatvittring är silikatvittring, katjonbyte, aluminiumvittring och järnvittring (Eriksson et al., 2011). Katjonbyte har en kortsiktigt buffrande förmåga och fungerar genom att baskatjoner, exempelvis kalciumjoner (Ca^{2+}) adsorberade på kolloider i innerlösning byts ut mot två vätejoner (2H^+) från ytterlösningen. En lägre koncentration av vätejoner i ytterlösning ger ett högre pH-värde och markförsurningen fördröjs. Däremot medför detta en utlakning av baskatjoner och därmed en sänkning av basmättnadsgraden. Jordar med hög CEC, ler- och mulljordar, har en större buffrande förmåga (Eriksson et al., 2011).

1.2 Kalk

Kalkning används som ett verktyg för att underhålla eller höja pH-värdet i marken. (Andersson et al., 2024). Jordbruksverkets råd är att jorden, generellt sätt, bör kalkas när pH-värdet är 0,3–0,5 enheter lägre än det rekommenderade pH-värdet för jordarten (Andersson et al., 2024). Kalkstensmjöl består av kalciumkarbonat, CaCO_3 , och är det vanligaste kalkmedlet. Kalkmedlet fungerar genom att kalciumjonen (Ca^{2+}) tränger ut sura katjoner från kolloiderna och sedan kan den negativa karbonatjonen (CO_3^{2-}) i kalkmedlet neutralisera vätejoner i markvätskan. Två vätejoner kan neutraliseras per karbonatjon. Tillsätts medel som innehåller kalciumjoner utan en korresponderande anjon kommer vätejonen ej att neutraliseras och en pH-sänkning av marklösningen sker till följd av ökad andel vätejoner (Mattsson, 2010). Detta kallas utbytesaciditet.

Kalkverkan hos en produkt uttrycks ofta som % CaO, eftersom det möjliggör att jämföra olika kalkningsprodukter med varandra (Eriksson et al., 2011). Kalkbehovet uttrycks som ton CaO/ha. För att täcka kalkbehovet 1 ton CaO/ha krävs dubbla mängden CaCO_3 , då molvikten för CaO är drygt hälften av molvikten för CaCO_3 (Eriksson et al., 2011).

1.2.1 Kornstorlek och sammansättning av kalkningsmedel

Kalkstensmjöl består av CaCO_3 , i formen kalcit (Eriksson et al., 2011) och är det kalk som använts i undersökningen. Dolomitkalk är en annan vanlig produkt som används på jordar som dessutom har magnesiumbrist (Eriksson et al., 2011). Bränd kalk (CaO) och släckt kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) kan också användas i jordbruket. (Andersson

et al., 2024) Dessa produkter har en hög löslighet och används i blandning med kalkstensmjöl vid strukturkalkning för att bilda aggregat i marken. Produkterna används inte rena då de är dyra samt riskfyllda att hantera (Andersson et al., 2024). Kornstorlek på kalkmedlet kan påverka tiden för givan att nå full effekt. Grövre kornstorlekar tenderar att behöva en större giva för att initialt ge samma effekt som ett finfördelat mjöl. Dock, kommer den fulla effekten efter några år vara jämförbar (Andersson et al., 2024).

1.2.2 Kalkbrytning

Brytning av kalk i kalkstens- och dolomitkalkstengruvor är det vanligaste sättet att framställa råvaran till kalkprodukter (Mattsson, 2010). Egenskaperna på kalkprodukten kan skilja sig beroende på typen av kalksten i gruvan. Kalksten kan vara av sedimentärt ursprung eller kristallint ursprung, som ger mjuka snabbverkande produkter respektive hårda och mer långsamt verkande produkter (Mattsson, 2010).

Kalkbrytning har varit ett omdebatterat ämne och prövats i domstol flertalet gånger de senaste decennierna (Naturvårdsverket 2023). Problem med kalkbrytning inkluderar skada på unika arter och natur i området, höga koldioxidutsläpp och vattenförorening om dammar brister (Naturvårdsverket 2023 och Naturskyddsföreningen 2021).

1.3 Östersjön och övergödning

Delar av Östersjön är kraftigt eutrofierad till följd av människans tillförsel av kväve och fosfor (Gustafsson & Arneborg, 2020). Problematiken observerades redan på 1940-talet. Trots att utsläppen av närsalter har minskat sedan 1980-talet har inte tillståndet i havet förbättrats. Utsläppen är främst till följd av användning av konstgödsel i jordbruket, utsläpp från förbränning av fossila bränslen, intensifierad djurhållning och ökat tryck på reningsverk (Gustafsson & Arneborg, 2020).

Tillförsel av kväve och fosfor i Östersjön leder till en tillväxt av alger, fytoplankton och andra primära producenter (HELCOM, 2023). De primära konsumenterna kan inte proportionerligt konsumera floran och havet växer igen, vilket leder till minskat ljusinsläpp. I sin tur kommer även mer flora och fauna att till sist hamna på botten och kräva mer syre för att brytas ner aerobt (HELCOM, 2023).

1.4 Blåmusslor

Musslan i Östersjön är en hybrid av *Mytilus trossulus* och *M. edulis*, och har därmed fått namnet *Mytilus trossulus x edulis* (Linsén, 2016). Dock, benämns ofta musslan allmänt för blåmussla. Blåmusslor är sessila organismer och livnär sig genom att filtrera näring från omgivande vatten (Linsén, 2016). Musslornas upptag av näringsämnen gynnar ekosystemet genom att bland annat skapa klarare vattenmassor och minska sedimentering (Linsén, 2016). Musslors skal är uppbyggt av 6,5% organiskt material (Olrog & Christensson, 2003). Den oorganiska delen består till 97% av CaCO₃ av typen aragonit. Aragonit är mer lättvittrat än kalcit (Olrog & Christensson, 2003). Till följd av sitt CaCO₃ innehåll har musselskal, liksom andra skal från blötdjur, länge undersökts för sin potential att ersätta CaCO₃ från kalksten inom olika industrier (Morris et al., 2018).

Enligt tidiga data från tre EU - projekt i Östersjön har blåmusslan god potential att få eller vara av en betydande roll för minskningen av kväve och fosfor i Östersjön (Kiessling et al., 2019). Teknikutveckling har möjliggjort flerdubblade musselskördar och sänkta kostnader. Det innebär i sin tur att musselodling kan vara en kostnadseffektiv miljöåtgärd i komplement till minskade utsläpp av kväve och fosfor från land (Kiessling et al., 2019).

Blåmusslan är ätbar och odlas på västkusten för humankonsumtion. I Östersjön är musslan betydligt mindre i storlek till följd av osmotisk stress av brackvatten (Linsén, 2016). Storleken och Östersjöns vattenkvalitet är anledningar till att östersjömusslan inte betraktas som livsmedel. Utredning gällande livsmedelssäkerhet av östersjömusslan pågår dock på Åland (Linsén, 2016). Musslor odlas genom att naturligt förekommande mussellarver fäster på odlingsrep som odlaren satt ut i havet. Musslorna växer till sig under 1–2 år och skördas sedan (Ecopelag u.å.).

1.4.1 Tungmetaller i musslor

I Östersjön finns tungmetaller som en följd av mänskliga verksamheter, bland annat olämplig hantering av avfall (Linsén, 2016). I vatten är det i synnerhet bly (Pb), kvicksilver (Hg), arsenik (As) och kadmium (Cd) som är de skadligaste tungmetallerna. Nämnade tungmetaller är toxiska för flera organismer redan vid låga nivåer, och därför finns även restriktioner för tillförsel av tungmetaller till åkermark via exempelvis avloppsslam (Eriksson et al., 2011). Kadmium är relativt löslig och kan lätt tas upp av grödor, vilket i sin tur utgör en hälsorisk för konsumenten (Eriksson et al., 2011). Tungmetaller från vatten anrikas i musslors mjukvävnad (Linsén, 2016) men förekommer även i musslornas skal (Koide et al., 1982). En totalanalys på musselskal från den musselodling som musslorna i experimentet

kommer från, utförd av LMI 2022, visade på låga värden av kadmium, nickel, molybden och koppar. Värdena för dessa ämnen ligger under tillåten nivå för KRAV certifierade jordförbättringsmedel (KRAV 2020–2024). Värden för kvicksilver, bly och arsenik saknades. Tidigare studie med musslor (skal och kött), med ändamål att spridas på åkrar som jordförbättring, visade också på låga värden av tungmetaller (Olrog & Christensson, 2003; Olrog & Christensson 2008).

1.4.2 Musslor som kalkningsmedel

Användning av skalet från mollusker som ett kalkningsmedel är ingenting nytt. Musselskal från *Mytilus galloprovincialis* har använts för att höja jordens pH både historiskt och fortsatt idag i Galicien i norra Spanien (Morris et al., 2018; Alvarez et al., 2012). Det finns även flertalet studier som undersökt potential och funktion som ett kalkningsmedel av skalet från olika mussel- och ostronarter (Morris et al., 2018; Lolas et al., 2024; Lolas et al., 2023; Olrog & Christensen 2003; Olrog & Christensen 2008). I Sverige hade ett tiotal lantbrukare spridit musselrester på sina åkrar under ett tiotal år redan 2003, delvis på grund av kalkningseffekten (Olrog & Christensen 2003). Däremot är antalet studier som undersökt olika givor och storleksfraktioner av musselskalsmjöl samt jämförelser av effekten med kalksten begränsat. Tidigare studier, till författarens kännedom, av malt musselskalsmjöls pH-höjande effekt från musslan *M. trossulus x edulis* saknas.

En tvåårig grekisk studie, som använde skal från en annan mussla från familjen *Mytilus* (*Mytilus galloprovincialis*), visade på ökat pH-värde i jord samt ökad skörd av rosmarin i de krukorna med mer musselskal (Lolas et al., 2024). En annan studie, som kom ut december 2023, undersökte också musslan *M. galloprovincialis* kalkverkan (Lolas et al., 2023). Experimentet pågick i 180 dagar och undersökte olika givor och fraktioner av musselskal (Lolas et al., 2023). Även två tidigare svenska undersökningar testade att använda musselrester (organisk och oorganiska delar) både för näring och kalkeffekt (Olrog & Christensson, 2003; Olrog & Christensson 2008). En spansk studie jämförde flertalet effekter av olika behandlingar i rhizofär och bulkjord (Alvarez et al., 2012). Behandlingarna i studien bestod av två olika fraktioner finmalet musselskalsmjöl, två fraktioner kalcinerat musselskalsmjöl och konventionell jordbrukskalk.

1.5 Syfte, frågeställningar och hypotes

Syftet med detta arbete var att undersöka effekten på pH-värdet i jord vid tillförsel av musselskalsmjöl i olika storleksfraktioner och givor samt att jämföra den pH-höjande effekten av musselskalsmjöl med kalkstensmjöl i jord.

Fyra frågeställningar ställdes upp.

- Har musselskalsmjöl en effekt på pH-värdet i jord?
- Har storleksfraktionen på musselskalsmjölen betydelse för pH effekt i jorden?
- Har dubbel giva musselskalsmjöl en större pH-höjande effekt i jord?
- Har musselskalsmjölen en likvärdig effekt på pH-värdet jämfört med kalkstensmjöl?

Baserat på litteraturundersökningen formulerades en hypotes. Musselskalsmjölen antas ha en effekt på pH-värdet i jord, och en finare storleksfraktion förväntas ha en större pH-höjande effekt än grövre. Tillförsel av dubbel mängd musselskalsmjöl förväntas ge en större pH-höjande effekt än tillförsel av enkel mängd. Musselskalsmjölen förväntas ha en större effekt på pH-värdet än kalkstensmjöl.

2. Material och metod

2.1 Försöksupplägg

Ett experiment utfördes genom att, under 12 veckor, testa två olika givor av grovt musselskalsmjöl, 2 givor av fint musselskalsmjöl och 2 givor av kalkstensmjöl i en jord med pH 5 i kruka. Varje behandling, inklusive en kontrollgrupp, hade fem replikat. Det gav 35 krukor och 7 behandlingar. pH-mätningar utfördes var tredje vecka på samtliga krukor. Den initiala pH-mätningen utfördes innan behandling tillsatts. Musselmjöl kommer användas synonymt med musselskalsmjöl, och jordbrukskalk kommer användas synonymt med kalkstensmjöl i resterande text.

2.2 Insamling och analys av jord

Ett krav för jorden var att den skulle ha ett relativt lågt pH-värde, och grävdes från ett närliggande fält (SITES Lönnstorp Research Station i södra Skåne) där tidigare analyser gjorts som visade på ett pH-värde cirka 5. Vattenhalten i jorden var 6,9% när den hämtades.

Mullhalt i jorden bestämdes till 1,8% genom glödningstest LOI. Texturanalys gjordes enligt Cornell Universitets standardiserade jordtexturanalys (Kettler et al., 2001). Jorden var en lättlera med en lerhalt på 23,5%.

Jordens massa för 1 ha med 30 cm matjord, och en skrymdensitet på 1,6 kg/l beräknades till 4800 ton, med följande ekvation;

$$A \cdot h \cdot d = m_{jord}$$

$$\begin{aligned} A &= \text{jordens area (dm}^2\text{)} \\ h &= \text{matjordens djup (dm)} \\ d &= \text{skrymdensitet (kg/l)} \end{aligned}$$

2.2.1 Rekommenderad giva CaCO_3

Baserat på jordens mull- och lerhalt gav det en rekommenderad giva på 2 ton CaO /ha (Andersson et al., 2024). Musselskalen hade enligt tidigare analys 42 vikt% CaO . Information kring kalkstensmjölets ursprung eller % CaO saknades. Kalksten har minimum 45% CaO , så en likvärdig produkt av jordbrukskalk med 46% CaO användes vid uträkningarna (Andersson et al., 2024).

Med dessa antaganden kunde följande ekvationer användas till att räkna ut rekommenderad giva CaCO_3 (g) per kg jord;

$$\frac{m_{\text{CaO}}}{k} = m_{\text{CaCO}_3}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{CaO}} &= \text{Rekommenderad giva CaO (ton)} \\ k &= \text{CaO i musselskal eller jordbrukskalk (\%)} \\ m_{\text{CaCO}_3} &= \text{rekommenderad giva i CaCO}_3 \text{ (ton)} \end{aligned}$$

$$\frac{m_{\text{CaCO}_3}}{m_{\text{jord}}} = \alpha$$

$$\begin{aligned} m_{\text{CaCO}_3} &= \text{rekommenderad giva i CaCO}_3 \text{ (ton)} \\ m_{\text{jord}} &= \text{massa jord (ton)} \\ \alpha &= \text{kg musselskal eller jordbrukskalk per kg jord (kg/kg)} \end{aligned}$$

Enligt beräkning gav det en rekommenderad giva på 0,99 gram och 0,91 gram per kg jord för musselskal respektive kalkstensmjöl. Detta avrundades till 1 gram per kg jord för båda produkterna.

2.3 Behandling

Musselskalen i experimentet kommer från Ecopelag, en icke vinstdrivande förening som bedriver musselodlingar i Östersjön (Ecopelag u.å.). Musselskalen torkades i en vecka på 70 grader Celsius och maldes sedan genom ett 2mm filter i en elektrisk kvarn (MILLY Molinetto Macinatutto).

Två olika givor, en i enlighet med Jordbruksverkets rekommendation för kalk och en med dubbla givan, testades för jordbrukskalk, grovt- och fint musselmjöl. Inklusive kontrollgruppen gav det totalt 7 olika behandlingar (Tabell 1). Varje behandling upprepades i fem krukor.

Tabell 1: Beteckning och beskrivning av respektive behandling.

Beteckning	Behandling
Behandling F1	1 gram fint musselmjöl
Behandling G1	1 gram grovt musselmjöl
Behandling J1	1 gram jordbrukskalk
Behandling F2	2 gram fint musselmjöl
Behandling G2	2 gram grovt musselmjöl
Behandling J2	2 gram jordbrukskalk
Behandling K	Obehandlad kontrollgrupp

Fraktionerna av musselskals mjöl togs fram genom siktning. Fint musselmjöl avser musselskalsmjöl med en kornstorlek $<0,25$ mm. Grovt musselmjöl avser musselskalsmjöl med kornstorlek $0,63 - 2$ mm. Det grova musselmjölet siktades genom en 2 mm sikt och sedan en $0,63$ mm sikt där det som blev kvar i siktredskapet användes. Jordbrukskalk avser ett kalkstensmjöl med varierande kornstorlekar upp till $1,8$ mm. Kalkstensmjölet bestod, i viktprocent, till ca 50% av en storleksfraktion $> 0,63$ mm och 25% var $< 0,25$ mm.

Försöket utfördes i krukor under period av 12 veckor. Krukorna fylldes med 1 kg jord och märktes upp enligt respektive behandling. Det initiala pH-värdet mättes i varje kruka enligt metodbeskrivningen i 2.2.1. Därefter tillsattes produkterna och blandades ned i krukorna. Krukorna placerades utomhus i rader (Figur 1) på Grobruket i Alnarp, den 8 april 2024. De placerades i en ställning för skydd mot fåglar och kraftig vind. Vid förekomst av ogräs plockades dessa försiktigt bort.



Figur 1: En bild på krukornas uppställning i en skyddande miljö mot fåglar och kraftig vind. Vardera färgprick representerar en behandling.

2.3.1 pH-mätning

Ett prov togs från varje kruka på följande sätt: jorden i krukorna rördes om tre varv med en sked för att jämna ut eventuella klumpar. 15g jord vägdes upp från krukorna till motsvarande provrör.

20 ml avjoniserat vatten mättes upp i en mätcylinder och tillsattes vardera provrör. Provrören skakades kraftigt med hjälp av skakmaskin (SM Edmund Bühler) i två timmar. Därefter placerades 12 provrör i taget i en vortex (Multi Reax Heidolph) i 3 minuter på hastighet 9. pH-värdet mättes med pH-mätare (Accumet AB150) på de 12 provrören. Innan varje individuell mätning vändes varje provrör upp och ner tre gånger för att hindra jordpartiklarna från att sedimentera olika mycket mellan provrören. Proceduren upprepades sedan för de nästa 12 provrören och därefter för de resterande 11 provrören.

pH-mätningarna gjordes var tredje vecka med start den 8/4 2024. Den första pH-mätningen gjordes innan någon behandling tillförts för att få ett referensvärde. Totalt gjordes fem mätningar; 8/4, 29/4, 20/5, 10/6 och 1/7.

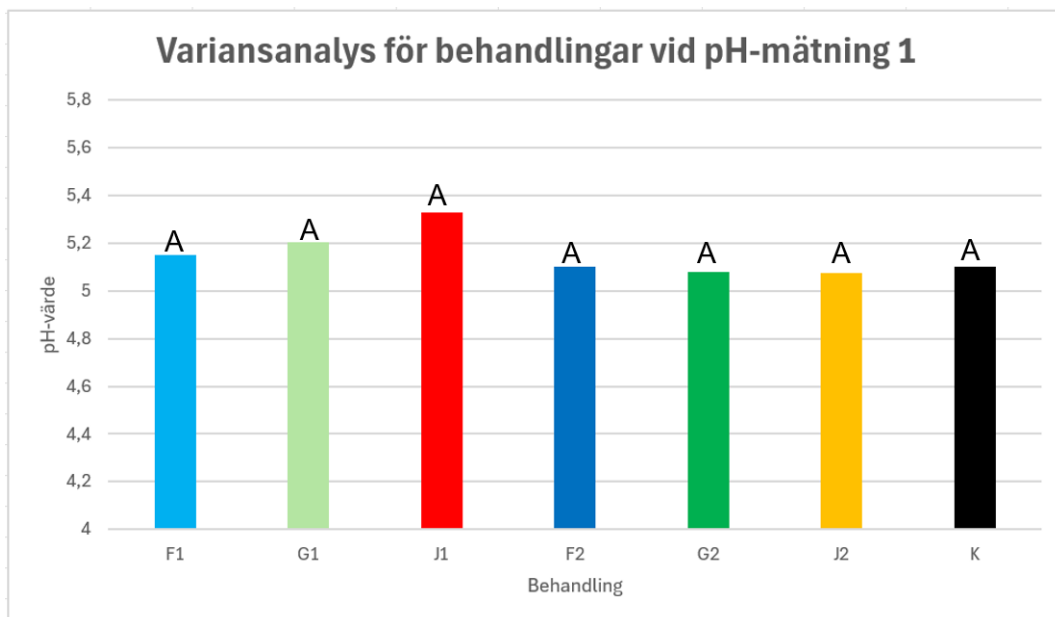
2.4 Statistik

Microsoft Excel och Minitab användes för att göra diagram och statistiska analyser av resultaten. Tukey-test användes för den initiala och avslutande pH-mätningen för att jämföra behandlingarnas resultat med varandra. Tukey-testet visar om det finns en signifikant skillnad mellan medelvärdet av de olika behandlingarna, vilket symboliseras med en signifikansbokstav.

3. Resultat

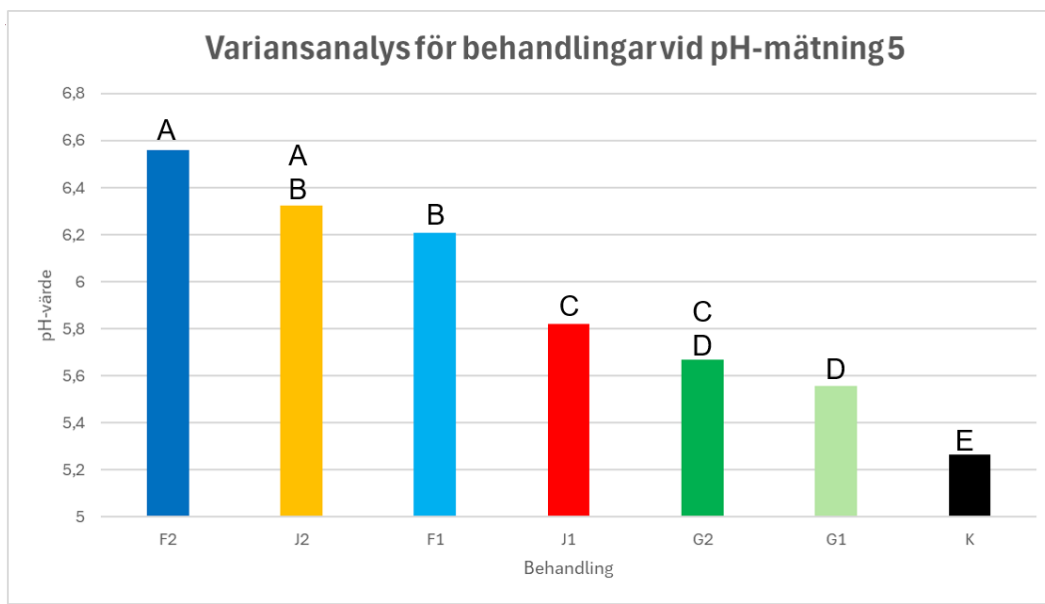
3.1 Jämförelse av behandlingar

Innan behandling tillsatts utfördes en pH-mätning i alla krukor (Figur 2). Ovanför varje stapel finns en signifikansbokstav. Om två eller fler behandlingar har samma bokstav har de ingen signifikant skillnad varandra emellan (Figur 2 & 3). pH-värdet för behandlingarna vid pH-mätning 1 låg mellan 5,07 och 5,33 (Figur 2). Det fanns ingen signifikant skillnad mellan behandlingarna och innebär att de hade en neutral grund för följande mätningar.



Figur 2: Stapeldiagram på alla behandlingar från pH-mätning 1, analyserat med ett Tukey-test. Staplar med olika bokstav är signifikant olika. Konfidensintervall är 95%. F1 = 1 gram finmalet musselskalmjöl, G1 = 1 gram musselskalmjöl, J1 = 1 gram jordbrukskalk, F2 = 2 gram finmalet musselskalmjöl, G2 = 2 gram grovmalet musselskalmjöl, J2 = 2 gram jordbrukskalk och K = kontrollgrupp.

Vid avslutande pH-mätning hade pH-värdet stigit för samtliga behandlingar (Figur 3). Vid detta måttillfälle låg pH-värdena mellan 5,26 och 6,56. 2 g finmalet musselskalsmjöl hade det högsta pH-värdet och kontrollbehandlingen hade det lägsta pH-värdet vid avslutande mätning. Resultatet från ett Tukey-test visar att samtliga behandlingar skiljer sig signifikant från kontrollgruppen (Figur 3) vilket innebär att behandlingarna hade en effekt på jordens pH-värde.



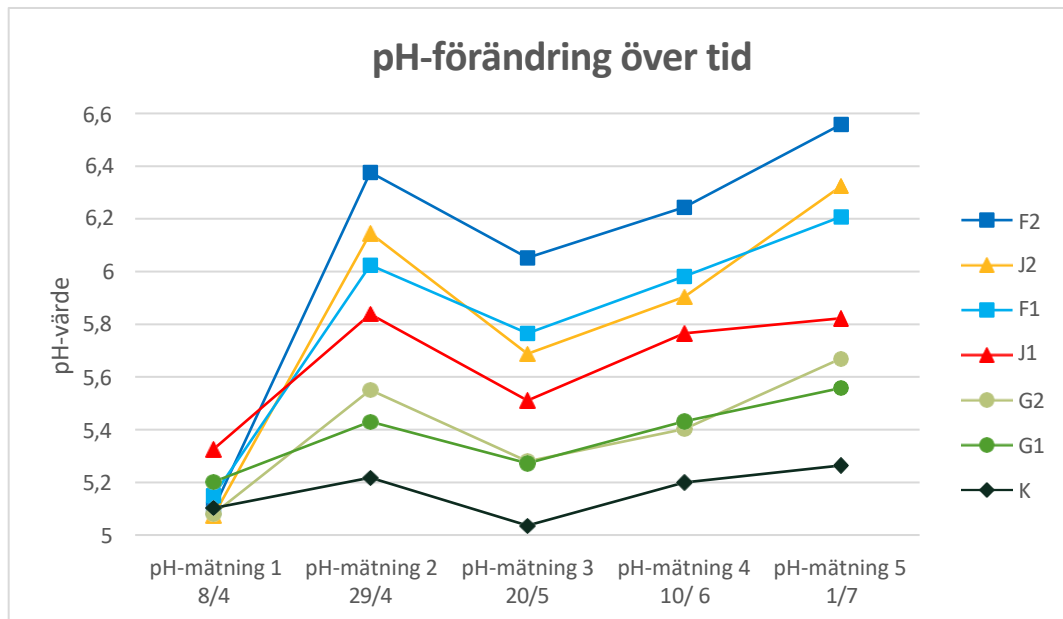
Figur 3: Stapeldiagram på alla behandlingar från pH-mätning 5. Ovanför staplarna finns en signifikansbokstav, från ett Tukey-test. Staplar som inte delar samma bokstav är signifikant olika. Konfidensintervall är 95%. F2 = 2 gram finmalet musselskalsmjöl, J2 = 2 gram jordbrukskalk, F1 = 1 gram finmalet musselskalsmjöl, J1 = 1 gram jordbrukskalk, G2 = 2 gram grovmalet musselskalsmjöl, G1 = 1 gram musselskalsmjöl och K = kontrollgrupp.

Störst effekt hade behandling 2 gram finmalet musselmjöl, följt av 2 gram jordbrukskalk, 1 gram finmalet musselmjöl, 1 gram jordbrukskalk, 2 gram grovmalet musselmjöl och sist 1 gram grovmalet musselmjöl. 2 gram finmalet musselskalsmjöl hade en signifikant större pH-höjande effekt än 1 gram finmalet musselskalsmjöl. Däremot, fanns det inte någon signifikant skillnad mellan enkel och dubbel giva av det grövre musselskalsmjölet. Resultatet visar även att båda givorna av musselskalsmjöl med kornstorlek <0,25mm hade en större effekt på pH-värdet än båda givorna musselskalsmjöl med kornstorlek >0,63mm.

Behandling 2 gram jordbrukskalk hade ingen signifikant skillnad i effekt på pH jämfört med 2 gram finmalet musselmjöl eller 1 gram finmalet musselmjöl. Dock, hade behandling 2 gram finmalet musselmjöl en signifikant skillnad på pH-höjning jämfört med 1 gram finmalet musselmjöl. 2 gram kalkstensmjöl hade en jämförbar effekt på jordens pH jämfört med 1 och 2 gram finmalet musselskalsmjöl. Behandling 1 gram jordbrukskalk hade ingen signifikant skillnad jämfört med 2 gram grovmalet musselskalsmjöl.

3.2 pH-värdets utveckling

Figur 2 visar pH-värdets utveckling över tid för de olika behandlingarna. Varje linje visar utvecklingen av pH-värdet för en behandling där varje punkt på linjen representerar behandlingens medelvärde av 5 krukor vid pH-mätningstillfället.



Figur 4: Linjediagram som visar pH-förändring över tid, där en prick representerar behandlingens medelvärde vid pH-mätningstillfället. F2 = 2 gram finmalet musselskalsmjöl, J2 = 2 gram jordbrukskalk, F1 = 1 gram finmalet musselskalsmjöl, J1 = 1 gram jordbrukskalk, G2 = 2 gram grovmalet musselskalsmjöl, G1 = 1 gram musselskalsmjöl och K = kontrollgrupp.

Behandlingar har vid varje pH-mätning följt ett gemensamt mönster (Figur 4). Vid pH-mätning 2 hade samtliga behandlingars medelvärde stigit, för att sedan sjunka till pH-mätning 3 och sist successivt stiga vid resterande två mätningar. Kontrollgruppen följde samma mönster. Resultatet vid pH-mätning 2 var likt resultatet vid pH-mätning 5. Snabbast ökning av pH-värdet hade behandlingarna 2 gram finmalet musselskalsmjöl, 2 gram jordbrukskalk och 1 gram finmalet musselskalsmjöl.

4. Diskussion

Den första pH-mätningen gjordes för att se det ursprungliga medelvärdet för de olika behandlingsgrupperna innan behandlingen tillsattes. Resultatet för pH-mätning 1 visade att det inte fanns en signifikant skillnad i pH-värde mellan behandlingsgrupperna och kontrollgruppen. Därför kunde resultaten i senare mätningar jämföras med kontrollgruppen för att dra slutsatser.

Resultatet visar på att samtliga behandlingar som testats har haft en signifikant pH-höjande effekt i jord (Figur 3). Både kalkstensmjöl och musselskal innehåller kalciumkarbonat (CaCO_3). Kalciumjonerna kan tränga ut vätejoner från jordens kolloider (ler- och humuspartiklar), som sedan neutraliseras av karbonatjonerna. Resultatet blir en pH-höjning, vilket det antogs att musselskalen skulle ha i hypotesen. Den dubbla mängden musselskalsmjöl hade en större effekt på pH i det finare musselmjölet. I det grövre musselmjölet var skillnaden inte signifikant mellan giva 1 gram och 2 gram. Hypotesen att dubbel mängd musselskalsmjöl ger högre pH än enkel mängd stämde därmed endast för den finare storleksfraktionen, under undersökningsperioden.

Resultatet visar även att det finmalda musselmjölet höjde pH-värdet i jord mer än det grovmalda musselmjölet (Figur 3). Detta gällde även för dubbel giva grovt musselskalsmjöl jämfört med enkel giva fint musselskalsmjöl. Detta resultat kan förklaras med att finare fraktioner har större specifik yta och därmed kan vittra och upplösas snabbare. Det styrks också av tidigare litteratur, som menar på att grövre kornstorlekar av kalkmedel tenderar att behöva längre tid för att ge samma effekt som mer finmalet musselmjöl (Andersson et al., 2024). Det hade varit intressant att göra en till mätning efter ett års tid för att se om den grövre kornstorleken då hade uppnått liknande pH-värde som den finare kornstorleken. Eftersom detta experiment endast pågick under 12 veckor var det inte möjligt att studera sådana långsiktiga effekter.

Behandlingarna med 1 gram och 2 gram finmalet musselmjöl hade inte någon signifikant skillnad jämfört med 2 gram jordbrukskalk (Figur 3). Det finmalda musselmjölets båda givor hade däremot en större pH-höjande effekt än 1 gram jordbrukskalk. Musselskalets kalciumkarbonat består av typen aragonit, vilket är mer lösligt än kalcit (Olrog & Christensson, 2003) och därför antogs det i hypotesen att de båda musselskalsmjölen skulle ha en större pH-höjande effekt än kalkstensmjölet. Det kan vara en anledning till att 1 gram finmalet musselmjöl hade

en större pH-höjande effekt än 1 gram jordbrukskalk. Som tidigare nämnt fanns det en signifikant skillnad mellan 1 gram och 2 gram finmalet musselmjöl. Det innebär att om man skulle byta ut jordbrukskalk mot finmalet musselmjöl ger 2 gram fint musselmjöl en större pH-höjande effekt än 1 gram, under en 12 veckors period.

I hypotesen antogs båda musselskalsmjölen ha en större pH-höjande förmåga än jordbrukskalket, eftersom aragonit är mer lösligt än kalcit. Det stämde inte överens med resultatet. 1 gram grovt musselmjöl hade den minsta pH-höjande effekten. 1 gram jordbrukskalk hade ingen signifikant skillnad mot 2 gram grovt musselmjöl, under den undersökta perioden. Jordbrukskalken bestod till hälften av liknande storleksfraktioner som det grova musselmjölet. Hälften av jordbrukskalken var under 0,63mm, och 25% var mindre än 0,25mm. Det kan tolkas som att de finare fraktionerna i jordbrukskalket kompenserade för den dubbla mängden grovt musselmjöl. Det kan vidare tolkas som att, under en 12 veckors period, är mängden finare fraktioner av en kalkprodukt viktigare än den totala mängden, jämfört med grövre fraktioner, för en pH-höjande effekt i jord. Det styrks av att båda givor finmalet musselmjöl hade en större effekt än det grövre musselmjölet (Figur 3), samt att dubbla givan grovt musselskalsmjöl inte gav större effekt än enkla givan av samma behandling. Ytterligare kan det i så fall innebära att kalkstensmjölet, om siktat till samma kornstorlek som det fina musselskalsmjölet, hade haft en större pH-höjande effekt under samma tidsperiod. Dock, gäller det inte om båda givor har finare fraktioner, då dubbla giva finare fraktion gav en större pH-höjning.

I Figur 4 kan man se en tydlig trend för samtliga behandlingar och mätningar, inklusive kontrollgruppen, där medelvärdena sjönk från pH-mätning 2 till pH-mätning 3. En potentiell faktor kan vara att innan pH-mätning 3 hade det regnat fyra dagar i sträck och flera små ogräs hade slagit rot i majoriteten av krukorna. Växters upptag av katjoner som näringsämnen har en biologiskt försurande effekt i jord och därför kan ogräsen ha påverkat jordens pH-värde (Eriksson et al., 2011). Ogräs återfanns inte vid någon av de andra mätningarna då det var en torr och varm väderlek flera dagar innan övriga mätningar. Däremot var ogräsen små, ca. 1–2 cm höga från jordkant och rötter ca. 1 cm djupa. Enbart hjärtbladen var utvecklade och hade vuxit där maximalt i två veckor. Det hittades inga tidigare studier på samband mellan mängden biomassa och pH-sänkning, eller en groddplantas katjonupptag efter två veckor. Dock, har frön och hjärtblad ett näringslager till den första groningen vilket potentiellt kan innebära att ogräsen inte ännu börjat förlita sig på externa näringskällor (Hanley et al., 2004), alltså upptag av katjoner. Därför resonades det att ogräset inte bör vara en stor bidragande orsak till pH-sänkningen till pH-mätning 3.

En annan möjlig faktor kan vara att regnet lakat ut kalciumkarbonat från markvätskan (Mattsson, 2010) i högre grad än vätejonerna, och som en följd blir då pH-ökningen långsammare efter pH-mätning 3 och framåt än från pH-mätning 1

till pH-mätning 2. Till pH-mätning 3 hade även jorden en godtyckligt högre vattenhalt än till mätning 2, 4 och 5 till följd av regnet. Det innebar att mindre jord användes för att nå samma vikt (15 gram) av jordprovet, vilket i sin tur kan innebära att provet var mindre rättvisande för totala jorden i krukorna. Det kan även innebära att sannolikheten att CaCO₃, från de behandlade krukorna, fördes till jordprovet och påverkade mätningen var mindre.

Ytterligare en förklaring till varför trendlinjerna följer samma mönster kan vara en variation med mätinstrumentet (pH-mätaren). Det hade förklarats varför även kontrollgruppen följer samma trend som behandlingarna. Dock, har pH-mätaren enligt tillverkare en säkerhet i mätningarna med pH ±0,002 (Fisher Scientific, u.å.) En kalibrering utfördes inför de första tre pH-mätningarna men ansågs inte nödvändigt till resterande två mätningar då instrumentet användes frekvent av labbpersonal som vid de tillfällena redan kalibrerat instrumentet strax innan. Eftersom det är de tre första mätningarna som är mest anmärkningsvärda gällande sänkningen till pH-mätning 3 känns variation med mätinstrumentet inte som förklaring till resultatet eller kontrollgruppens liknande trendlinje.

Resultaten är i enighet med två tidigare studier som också visade på pH-höjande effekter av musselskal, men från en annan musselart inom familjen *Mytilus* (*Mytilus galloprovincialis*). Ena studien, som kom ut december 2023, undersökte musslan *M. galloprovincialis* kalkverkan (Lolas et al., 2023). Experimentet pågick i 180 dagar och undersökte olika givor och två fraktioner av musselskal (kornstorlek <1mm och 1-2mm). Undersökta givor var 0,1% (1 g/kg jord), 0,3% (3g/kg), 0,5% (5g/kg), 1% (10g/kg), 3% (30g/kg) och 6% (60g/kg) behandling av totala mängden jord med ett pH 4. pH-värdet höjdes i samtliga krukor där högre dos gav högre pH-värde. Giva med 0,1%, motsvarande 1 gram per kg, gav minimal effekt i båda fraktionerna efter 90 dagar för att sedan snabbt öka (Lolas et al., 2023). Det är intressant då det skiljer sig från detta experiment där det blev en signifikant skillnad efter 84 dagar (12 veckor). Skillnaden kan bero på att det var olika jordar med olika sammansättningar av ler- och mullhalt som därför kräver olika givor kalk för att höja pH-värdet (Andersson et al., 2024). Studien (Lolas et al., 2023) började även med pH 4,26 tillskillnad från det här experimentet som började på ett pH ca 5 för samtliga krukor. En annan skillnad var att de hade krukorna inomhus och vattnade jorden var tredje dag för att hålla en jämn fuktnivå genom hela experimentets gång. I metoden för detta experiment stod krukorna utomhus i både lätt vind och sol vilket torkade ut jorden totalt i perioder.

Den andra studien pågick i två år och undersökte musselskalsmjöls (<1mm) påverkan på tillväxt och produktion av rosmarin (*Rosmarinus officinalis* L) i jord (Lolas et al., 2024). Behandlingsdos förhållandet av musselskalsmjöl till jord var; 0,1%, 0,3%, 0,5%, 1%, 3% och 6%. pH-värdet mättes dock enbart initialt och efter 210 dagar, det vill säga inte för hela perioden. Resultatet visade att tillväxten och skörd av rosmarin ökade med ökad dos musselskalsmjöl. Däremot var pH-värdet i

samtliga behandlingar nästintill oförändrat efter 210 dagar. Det skiljer sig återigen från resultatet av denna studie, som visade på en signifikant pH-höjande effekt av 0,1% och 0,2% musselskalsmjöl efter 84 dagar. Skillnaden kan vara en konsekvens av att i deras studie odlades rosmarin i krukor, vilket kan ha en biologiskt försurande effekt genom upptag av baskatjoner som näringsämnen och rotandning (Eriksson et al., 2011). Anmärkningsvärt är att trots att pH-värdet inte ändrades så ökade tillväxt och skörd, vilket kan indikera att musselskal kan ha andra fördelar i växtodlingsammanhang än de effekterna från pH-höjning. Tillexempel öka växttillgängligt kalcium (Alvarez et al., 2012).

Resultaten från undersökningen är också i likhet med de från en spansk studie som jämförde effekter i rhizofär och bulkjord av behandlingarna finmalet musselskalsmjöl (0–2 mm), grovmalt musselskalsmjöl (2–4 mm), kalcinerat musselskalsmjöl i två storleksfraktioner (<63 μm och 0–2 mm) med konventionell jordbrukskalk (Alvarez et al., 2012). Behandlingarna tillsattes i fält utomhus i en jord med låg CEC, tillsammans med gödsel. Inhemska betesarter såddes även in i fältet, för att senare mäta behandlingarnas påverkan på arterna. Resultaten efter 15 månader visade att samtliga behandlingar hade en signifikant pH-höjande effekt i rhizofären (Alvarez et al., 2012). De visade också att den fina fraktionen av kalcinerat musselskal och jordbrukskalk inte hade en signifikant skillnad, samt hade den största pH-höjande effekten. Resterande musselskalsbehandlingar hade en signifikant skillnad från jordbrukskalk, men inte jämfört med den fina fraktionen kalcinerat musselskalsmjöl (Alvarez et al., 2012). Studien nämner inte vilken musselart som skalen kommer ifrån eller storleksfraktion av jordbrukskalken, vilket försvårar en detaljerad jämförelse med resultaten i denna undersökning. Dessutom var givan baserad på lokala rekommendationen i Galicien, samt i en jord med lägre pH från start (pH 4,69). Resultaten visade inte någon signifikant skillnad mellan de finmalda musselskalsmjölen med de grövre (Alvarez et al., 2012), tillskillnad från resultaten i den här undersökningen. Däremot var deras tidsperiod cirka ett år längre, vilket kan innebära att musselskalen vittrat till liknande storleksfraktion och uppnått full effekt. Båda studier visade på en signifikant pH-höjning av musselskalsmjöl i jord, varav Alvarez et al. (2012) mätte pH-värdet efter 15 månader. Den längre tidsperioden är intressant då den visar att musselskalsmjöl kan ha en kalkningsverkan i jordens rhizofär även efter 15 månader. Kalcinerat musselskalsmjöl kan komma vara intressant i Sverige, särskilt om kalkningsverkan långsiktigt blir mer jämförbar med den av jordbrukskalk. Nackdelen med att kalcinera musselskal, och kalksten, är upphettningen till 550° C som är väldigt energikrävande.

En svensk undersökning jämförde gödsel- och kalkningseffekt av hela musslor, musselrester och fast stallgödsel med goda resultat (Olrog & Christensen, 2003). Däremot saknade studien underlag för statistiskt säkra resultat. Studien använde musslor och musselrester, som hade ett kalkvärde på 17% CaO respektive 19% CaO

i jämförelse med 42% CaO om enbart skalen används (vikt%). Dock, är den absoluta mängden CaCO₃ densamma men en koncentrerad produkt har mindre volym för samma effekt och är intressant om enbart en pH-höjande effekt i jord önskas. Ytterligare en svensk undersökning testade att på friland gödsla med hela musselrester (blandning av skal och organiska rester), både komposterade och färska, var den pH-höjande effekten låg efter ett år (Olrog & Christensen, 2008). Det finns dock stora skillnader mellan studierna då de använde sig av okrossade musselrester, samt i den komposterade behandlingen tillsatt halm. Enligt resultat från den här studien var det signifikant skillnad i pH-höjande effekt mellan fraktion <0,25mm och 0,63-2mm. Följaktligen är det inte förvånande att okrossat musselskal skulle ha en signifikant långsammare pH-höjning, trots att deras studie pågick i ett år. Tillförsel av organiskt material hade en gödslingsseffekt vilket påverkar jordens jonsammansättning och kan därför påverka pH-värdet. En annan aspekt som Olrog och Christensen (2003; 2008) diskuterar angående kalkning med musslor är den kraftiga lukten. Även efter torkning och malning, upplevdes musselskalen från denna studie ha en kraftig lukt. Det kan vara ett problem vid kommersialisering om konsumenten anser lukten vara för oangenäm för att vilja fortsätta använda produkten. Kompostering av musslorna har visat sig göra lukten mer tilltalande (Olrog & Christensen, 2008), vilket kan vara intressant att fortsätta undersöka vid potentiell kommersialisering av en musselskals kalkprodukt. Kompostering av musselskal kan även vara fördelaktigt då det både kan ge en gödsel- och kalkningsverkan i en produkt.

4.1 Metoddiskussion

I metoden användes två fraktioner av musselskalsmjöl, en finare och en grövre, för att få mer underlag kring kalkpåverkan av musselskalsmjöl då de enligt litteratur kan skilja sig. De valdes att vara mindre än 2mm i likhet med kalkstensmjölet, där den övre delen var 0,63mm-2mm och den fina mindre än 0,25mm för att ha en tydlig skillnad i storlek. Kalkstensmjölet valdes att inte dela upp i olika fraktioner då det var musselskalsmjöl som skulle testas mot en vanlig jordbrukskalkprodukt, för att samla underlag om musselskalsmjölets effekt på pH. Dessutom, har kalkprodukter naturligt olika egenskaper beroende på ursprung, kemisk uppbyggnad och om kalkstenen har sedimentärt eller kristallint ursprung (Olrog & Christensson, 2003 och Mattsson, 2010) och därför resonerades det att kalkprodukter inte är fullt jämförbara oavsett.

I metoden bestämdes även att den jord som togs ut från krukan för pH-mätning ej åter tillsattes till krukan. Det innebar att totalt 75 gram jord av de ursprungliga 1kg hade tagits ut. Vid varje mätning minskade därför jord och kalkprodukt i krukan. Det kan påverka resultatet ifall mer jord eller kalkprodukt tagits ut och därmed ändrat proportionerna. Anledningen till att jorden inte hölls tillbaka var

för att jorden skulle ha samma förutsättningar som i fält och att ingen litteratur om hur avjoniserat vatten påverkar en jord hittades.

Dessutom var jordproverna uppslammade under ca en 3h period vilket också kan ha ändrat fraktioner och jonsammansättningar. I synnerhet för de grövre musselmjölet och stora korn i kalkstensmjölet, vars större fraktioner kan ha krossats till mindre bitar och därmed haft en snabbare pH-höjande effekt. Det var en avvägning, i efterhand hade risken med att åter tillföra jordprovet potentiellt varit mindre än att totalt föra bort 60 gram jord till sista mätningen. Detta särskilt då man har i åtanke att det bara tillsattes 1 eller 2 gram av behandling. I ett försök med större kvantiteter hade detta varit ett mindre problem, då jordproverna har en mindre volym i proportion till den totala volymen. Ett annat sätt vore att ha fler replikat och testat en ny grupp av replikat för en behandling till varje pH-mätning. Nackdelen med den metoden är att det krävts mer jord, yta och krukor vilket var begränsande i starten då det fanns en stor tidspress att starta upp experimentet snabbt för att få en så lång tidsram som möjligt.

Trots det var tidsramen en begränsande faktor. Undersökningen kan vara missvisande för en längre period då kalkstensmjöl först räknas ge en full effekt ett år efter kalkning och krossad kalksten upp till 5 år (Andersson et al., 2024). I en liknande studie ändrades majoriteten av behandlingar avsevärt efter 90 dagar (Lolas et al., 2023). Vid de två sista pH-mätningarna ökade medelvärdena båda gånger, vilket trendlinjen i Figur 2 visar på. Det vore intressant att se om trendlinjen vid upprepade mätningar fortsätter att stiga, stabiliseras eller avta. Det vore även av intresse att mäta pH-värdet under en längre period för att se om musselmjöl på längre sikt har en likvärdig effekt på pH som jordbrukskalk. En annan förbättring i metoden hade varit att mäta kontrollgruppens pH-värde först, inte sist, ifall det kan vara anledning till att kontrollgruppens trendlinje följer samma mönster som behandlingarna. I metoden mättes kontrollgruppen sist därför att den kom sist i tabellen, utan reflektion att det kan påverka mätningens resultat, till exempel om ögats bedömning av ett rent instrument inte helt stämmer. pH-mätarinstrumentet tvättades och sköljdes givetvis noggrant mellan varje individuell pH-mätning men att mäta kontrollgruppen först hade eliminerat skepsis.

I försöket placerades krukorna av samma behandling i rader, i stället för att randomiseras. Anledningen var tidspress och att det inte togs hänsyn till vid studiens start. Senare omplacering av krukorna ansågs vara en större risk än att låta krukorna ligga då lite av jorden redan läckt ut från krukhålet vilket riskerade kontaminering om krukor flyttades runt. Att randomisera krukorna hade varit en bättre metod, eftersom träställningen som krukorna stod i kan suga åt sig vatten ojämnt. Om samtliga krukor av en behandling står mer blött än en annan kan det påverka resultaten. Försöket valdes att göras i jord utomhus för att utsättas för fältförhållanden. Ett sätt att minimera felkällor i resultatet vore att utföra studien i en kontrollerad miljö inomhus och tillsätta vatten med jämna mellanrum för att

bibehålla en jämn och konstant fuktnivå i alla krukor och undvika torra klumpar. Klumpar bröts upp inför varje mätning, vilket skedde var tredje vecka. Dock, innebär det att klumparna kan ha funnits i två-tre veckor och försvårat katjonutbyten, eftersom jonerna inte kan röra sig fritt i marklösningen. En felkälla blir även den mänskliga faktorn, ifall någon klump missats vid omrörningen och därför inte fått ett korrekt representerat jordprov från aktuell kruka. Den felkällan minskar däremot med antalet replikat.

4.2 Potentiell kommersialisering av musselskalsmjöl

Volymer av musselskal som finns som restprodukt från musselodling på Sveriges västkust eller vilka volymer som kan tänkas skördas i Östersjön i framtiden har inte undersökts i detta arbete. Huruvida det är praktiskt och ekonomiskt försvarbart att ersätta kalkstensprodukter med en produkt från musselskal från Östersjön behöver ytterligare studier. Om undersökning visar på låga volymer musselskal från Östersjön och att försäljningspris inte är ekonomiskt försvarbart för storskaliga odlingar kan produkten vara av större intresse som en trädgårdsprodukt för mindre trädgårdar. Trädgårdsmarknadens efterfrågan och köpvillighet av ett miljövänligare alternativ till kalksten är därför intressant att undersöka vid kommersialisering av en musselskalsprodukt.

Musselodling som en miljöåtgärd kan potentiellt redan vara ekonomiskt försvarbart (Kiessling et al., 2019). Dock kan försäljning av musselskal som kalkprodukt skapa ännu större lönsamhet och incitament för musselodlare att bedriva musselodling i Östersjön. Dessutom kan framtagandet av en musselmjöls kalkprodukt fungera som en inspiration till andra kustländer och musselodlare där, vilket globalt kan minska trycket på kalkstensgruvor. Dock, är det viktigt att musselodlingen inte bedrivs på ett sätt som har negativa följder på ekosystemet i havet. För en potentiell kommersialisering av musselskalsmjöl skulle fler studier för att fastställa kalkningsverkan under längre period behövas.

5. Slutsats

Arbetet har undersökt den pH-höjande effekten av blåmusslan *Mytilus trossulus x edulis*, samt jämfört effekten med den av kalkstensmjöl. Undersökningen kom fram till att musselskalsmjöl under en 12-veckorsperiod har en effekt på pH-värde i jord, där mer finmalet musselskalsmjöl har en större pH-höjande effekt än grövre. Det stämde även med motsvarande hypoteser. Hypotesen att musselmjöl har en större pH-höjande effekt än kalkstensmjöl stämde däremot inte. Resultatet visade att finmalet musselmjöl hade en likvärdig effekt som kalkstensmjöl, dock hade det grövre musselmjölet en mindre effekt än kalkstensmjölet. För finmalet musselmjöl gav den dubbla givan en större pH-höjning, medan för det grövre musselmjölet gav dubbla giva ingen signifikant skillnad. Alltså, stämde hypotesen att dubbla giva skulle ge en större pH-höjning enbart delvis. Det resonerades att de finare kornstorlekarna, i jämförelse med grövre, hade en större betydelse för pH-höjning i jord under den undersökta 12 veckors tidsperioden än givan. En begränsande faktor för studien var tidsperioden, som endast var 12 veckor, då full kalkeffekt av ett tillsatt kalkmedel generellt anses uppnås som tidigast efter ca. ett år. Musslor och andra mollusker med skal har använts och undersökts i flertalet studier för sin pH-höjande effekt, samt som ett hållbart alternativ till kalksten. Däremot finns ingen tidigare publicerad undersökning av kalkningsverkan av malet musselskalsmjöl från blåmusslan *Mytilus trossulus x edulis*. Det här arbetet bidrar till att framhäva användning av musselskal som kalkprodukt och att motivera ny forskning på området i Sverige. Fortsatt forskning hade särskilt behövts för att fastställa den långvariga kalkningseffekten (1 – 5 år) av musselskal och därmed få ut ett förväntat kalkvärde på sikt.

Referenser

- Alvarez, E. Fernandez-Sanjurjo, M J. Seco, N. Nuñez, A. (2012) *Use of Mussel Shells as a Soil Amendment: Effects on Bulk and Rhizosphere Soil and Pasture Production*. Volym 22. 152-164. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60002-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60002-2)
- Andersson, E Frostgård, G. Hjelm, E. Kvarmo, P. Stenberg, M & Malgeryd, J. (2024). *Rekommendationer för gödsling och kalkning*. (JO23:17.) Jordbruksverket. https://www2.jordbruksverket.se/download/18.23e68dd418d7c649d1721e97/1707728297575/jo23_17v3.pdf
- Ecopelag (u.å.). -för ett livskraftigare Östersjön. <https://ecopelag.se/> [2024-05-16]
- Eriksson, J. Dahlin, S. Nilsson, I. & Simonsson, M. (2011). *Marklära*. Upplaga 1:1. Studentlitteratur AB.
- Fisher Scientific. (u.å.) *Fisherbrand™ accumet™ AB150 pH Benchtop Meters*. <https://www.fishersci.com/shop/products/accumet-ab150-ph-benchtop-meters/13636AB150> [2024-08-21]
- Gustafsson, B & Arneborg, L. (2020) *Framtidens Östersjön – påverkan av övergödning och klimatförändringar*. Nr 2/2020. Stockholms universitets Östersjöcentrum och SMHI. https://www.researchgate.net/publication/345767213_Framtidens_Ostersjon_-_paverkan_av_overgodning_och_klimatforandringar
- Havet.nu (2023). *Egentliga Östersjön*. <https://www.havet.nu/egentliga-ostersjon> [2024-05-16]
- Hanley, E M. Fenner, M. Whibley, H. Darvill, B. (2004) *Early plant growth: identifying the end point of the seedling phase*. *New Phytologist*. Volym (163). 61-66. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01094.x>
- HELCOM (2023). *State of the Baltic Sea*. Third HELCOM holistic assessment 2016-2021. Baltic Sea Environment Proceedings n°194. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2023/10/State-of-the-Baltic-Sea-2023.pdf>
- Kettler, T.A., Doran, J.W., Gilbert, T.L. (2001). *Simplified Method for Soil Particle-Size Determination to Accompany Soil Quality Analysis*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:849-852. <https://bpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.cornell.edu/dist/7/9922/files/2022/04/CSH02-Texture-SOP-4-2022-.pdf>
- Kiessling, A. Futter, M. Elofsson, K. & Vidakovic, A. (2019) *Musselodling i Östersjön som miljöåtgärd – nya positiva data från tre pågående EU projekt*. Sveriges Lantbruksuniversitet. <https://pub.epsilon.slu.se/19142/1/policy-brief-nya-positiva-data-om-musselodling-som-miljoatgard-i-ostersjon-sv.pdf>

- Koide, M. Soo Lee, D. Goldberg, D E. (1982) *Metal and transuranic records in mussel shells, byssal threads and tissues*. Estuarine, Coastal and Shelf Science. Volym (15), 679-695. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(82\)90079-8](https://doi.org/10.1016/0272-7714(82)90079-8)
- KRAV (2020–2024). 12.2.2 *Tungmetaller i jordar och jordblandningar*. <https://regler.krav.se/unit/krav-regulation/44c9bd81-40ad-47bb-bf24-c1d7a2c91a3e>
- Linsén, J. (2016). *Musselodling för livsmedelsproduktion i landskapet Åland*. (ÅLR 2016/7828). Ålands landskapsregering. <https://www.regeringen.ax/sites/default/files/attachments/guidedocument/musslor-musselodling-for-livsmedelsproduktion-i-landskapet-aland.pdf>
- Lolas, A. Molla, A. Georgiou, K. Apostologamvrou, C. Petrotou, A. & Skordas, K. (2024) *Effect of Mussel Shells as Soil pH Amendment on the Growth and Productivity of Rosemary (Rosmarinus officinalis L.)* Agriculture. 14(1), 144. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010144>
- Lolas, A. Molla, A. Georgiou, K. Apostologamvrou, C. Petrotou, A. Skordas, K. & Vafidis, D. (2023). *Liming Effect of Mussel Shell (Mytilus galloprovincialis) Waste on High Acidic Soil*. Preprints. https://www.researchgate.net/publication/376526876_Liming_Effect_of_Mussel_Shell_Mytilus_galloprovincialis_Waste_on_High_Acidic_Soil
- Magnusson, M. (2015). *Mikronäringsämnen*. (P10:8.3) Jordbruksverket. https://www2.jordbruksverket.se/download/18.116fee5d14e0298945d65a07/1434627362627/p10_8_3.pdf
- Mattsson, L. (2010). *Geologiskt ursprung och kornstorlek avgör kalkeffekten*. (ISBN 978-91-86197-81-0 Rapport 5) Sveriges Lantbruksuniversitet. https://pub.epsilon.slu.se/4707/1/mattsson_1_100604.pdf
- Morris, P J. Backeljau, T. Chapelle, G. *Shells from aquaculture: a valuable biomaterial, not a nuisance waste product*. Volym (11), 42-57. <https://doi.org/10.1111/raq.12225>
- Naturvårdsverket (2023). *Kalkbrytning i Bunge – följ ärendet 2006–2019*. <https://www.naturvardsverket.se/lagar-och-regler/provningsarenanden/takter/kalkbrytning-i-bunge--folj-arendet-20062019/> [2024-05-16]
- Naturskyddsföreningen. (2021) *Gruvindustrins gruvligaste effekter på natur och människor*. <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/gruvindustrins-gruvligaste-effekter-pa-natur-och-manniskor/> [2024-05-16]
- Olrog, L. & Christensson, E. (2003). *Musselodling och jordbruk i samverkan*. Hushållningssällskapet. <https://miljomusslor.loven.gu.se/pdf/HushallningssRapp.pdf>
- Olrog, L & Christensson, E. (2008). *Användning av musslor och musselrester som gödselmedel i jordbruket*. Hushållningssällskapet Väst. Rapport 1 <http://hs-vast.hush.se/attachments/85/1716.pdf>
- SMHI (2023). *Östersjöns och Västerhavets geografi*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/haven-runt-sverige/ostersjons-och-vasterhavets-geografi-1.3080> [2024-05-16]

Östersjön.fi (u.å.). *Vattnets rörelser*. https://www.ostersjon.fi/sv-FI/Naturen_och_dess_forandring/Unika_Ostersjon/Vattnets_rorelser [2024-05-16]

Tack

Jag vill tacka min externa handledare Niklas Hjelm, och Niclas Lundius Mörck på Grobruket som bidrog med en idé, musselskal, utrustning, plats och hjälp.

Stort tack till min handledare Hanna Williams för alla tips, stöttning och hjälp genom arbetets gång. Det har varit väldigt lärorikt! Tack Bindu Sunilkumar för all hjälp och instruktioner inför pH-mätningar och jordanalyser.

Jag vill även tacka min examinator Anna-Karin Rosberg och opponert Andrea Raaschou för värdefull feedback.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.