

# Rhaglen Monitro a Modelu'r Amgylchedd a Materion Gwledig (ERAMMP)

## Adolygiad o Dystiolaeth y Cynllun Ffermio Cynaliadwy Atodiad Technegol

### Atodiad 3: Rheoli Carbon Pridd

Alison, J.<sup>1</sup>, Thomas, A.<sup>1</sup>, Evans, C.D.<sup>1</sup>, Keith, A.M.<sup>1</sup>, Robinson, D.A.<sup>1</sup>, Thomson, A.<sup>1</sup>, Dickie, I.<sup>2</sup>, Griffiths, R.I.<sup>1</sup>, Williams, J.<sup>3</sup>, Newell-Price, J.P.<sup>3</sup>, Williams, A.G.<sup>4</sup>, Williams, A.P.<sup>5</sup>, Martineau, A.H.<sup>6</sup>, Gunn, I.D.M.<sup>1</sup> & Emmett, B.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Y Ganolfan Ecoleg a Hydroleg, <sup>2</sup> eftec, <sup>3</sup> ADAS, <sup>4</sup> Prifysgol Cranfield, <sup>5</sup> Prifysgol Bangor, <sup>6</sup> Ricardo

Cyfeirnod Cleient: Llywodraeth Cymru / Contract C210/2016/2017

Fersiwn 1.1

Dyddiad 05/07/2019



Ariennir gan Lywodraeth Cymru  
a Canolfan Ecoleg a Hydroleg



Canolfan  
Ecoleg a Hydroleg  
CYNGOR YMCHWIL YN AMGLCHEDD NATURLIG  
Centre for  
Ecology & Hydrology  
NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL

**Cyfres** Rhaglen Monitro a Modelu'r Amgylchedd a Materion Gwledig (ERAMMP)  
Adolygiad o Dystiolaeth y Cynllun Ffermio Cynaliadwy (WP11), Atodiadau  
Technegol

**Teitl** Atodiad Technegol 3: Rheoli Carbon Pridd

**Cleient** Llywodraeth Cymru

**Cyfeirnod Cleient** C210/2016/2017

**Cyfrinachedd, hawlfraint a chopïo** © Hawlfraint y Goron 2019.  
Trwyddedir yr adroddiad yma o dan Drwydded Llywodraeth Agored 3.0

**Manylion cysylltu CEH** Bronwen Williams  
Y Ganolfan Ecoleg a Hydroleg, Canolfan yr Amgylchedd Cymru, Ffordd  
Deiniol, Bangor, Gwynedd, LL57 2UW  
t: 01248 374500  
e: erammp@ceh.ac.uk

**Awdur Gohebu** Jamie Alison, CEH Bangor

**Sut i ddyfynnu (hir)** Alison, J., Thomas, A., Evans, C.D., Keith, A.M., Robinson, D.A., Thomson,  
A., Dickie, I., Griffiths, R.I., Williams, J., Newell-Price, J.P., Williams, A.G.,  
Williams, A.P., Martineau, A.H., Gunn, I.D.M. & Emmett, B.A. (2019).  
Atodiad Technegol 3: Rheoli Carbon Pridd. Yn *Rhaglen Monitro a Modelu'r  
Amgylchedd a Materion Gwledig (ERAMMP): Adolygiad o Dystiolaeth y  
Cynllun Ffermio Cynaliadwy*. Adroddiad i Lywodraeth Cymru (Contract  
C210/2016/2017). Prosiect NEC06297 y Ganolfan Ecoleg a Hydroleg

**Sut i ddyfynnu (Byr)** Alison, J., et al. (2019). Atodiad 3: Rheoli Carbon Pridd. ERAMMP  
Adroddiad i Lywodraeth Cymru (Contract C210/2016/2017) (CEH  
NEC06297)

**Cymeradwywyd gan** Chris Bowring  
James Skates

#### Hanes y Fersiwn

Fersiwn	Diweddarwyd gan	Dyddiad	Newidiadau
0.1	JA	31/05/2019	Drafft cychwynnol.
0.2	LIC	18/06/2019	Ymatebion gan LIC.
0.3-1.0	JA, BE	25/6/2019	Golygu sylwadau LIC
1.1	PMO	5/7/2019	I'w gyhoeddi

# Cynnwys

## Contents

1	Cyflwyniad .....	2
1.1	Cefndir .....	2
1.2	Cyfyngiadau trawsbynciol ar gynnydd mewn SOC .....	5
1.3	Gwaith blaenorol ar dueddiadau ac ysgogiadau SOC .....	5
2	Deilliannau.....	8
2.1	Metrigau a dilysu trawsbynciol .....	8
3	Perthnasedd polisi a Deilliannau Polisi.....	11
4	Ymyriadau ar Laswelltiroedd wedi'u Gwella .....	12
4.1	Cynnydd mewn Gwrtaith a Weithgynhyrchwyd.....	12
4.2	Gwrtaith Organig.....	15
4.3	Calchu.....	18
4.4	Pori a Thorri .....	20
4.5	Rheoli Glastiroedd .....	23
4.6	Atal Troi Tir a Newid i fod yn Dyndir .....	25
4.7	Coedwigo, Gwrychoedd, Agrogoedwigaeth ac Adfer Cynefinoedd .....	26
5	Ymyriadau ar Dir Âr .....	30
5.1	Cynnydd mewn Gwrtaith a Weithgynhyrchwyd.....	30
5.2	Mewnbynau organig.....	31
5.3	Llai o Droï Tir a Dim Troï Tir.....	34
5.4	Cnydau gorchudd.....	36
5.5	Trosi i Laswelltir a Chnydau Lluosflwydd .....	37
5.6	Coedwigo ac Adfer Cynefinoedd .....	39
6	Ymyriadau ar gyfer Priddoedd Ucheldir.....	42
6.1	Atal Draenio ac Adfer Mawndiroedd .....	42
6.2	Atal Gwella a Lleihau Pori.....	45
6.3	Llosgi dan Reolaeth .....	46
6.4	Coedwigo a Datgoedwigo .....	49
7	Bylchau yn y Dystiolaeth .....	51
8	Crynodeb.....	52
9	Cyfeiriadau .....	56

# 1 Cyflwyniad

Mae'r adroddiad yma yn canolbwyntio ar wella'r ffordd o reoli carbon pridd (SCM). Rhennir yr adroddiad yn ddwy isadran, oherwydd gall math ac effaith ymyriadau rheoli fod yn sylweddol wahanol mewn priddoedd **wedi'u gwella** a phriddoedd **ucheldir**. Mae hynny oherwydd gwahaniaethau sylfaenol o ran strwythur, deunydd organig a chynnwys maethynnau. Fel rhan o'r adolygiad gofynnodd Llywodraeth Cymru am fanylion am y gallu i adrodd ar bob ymyrraeth neu fel arall mewn Rhestrau Nwyon Tŷ Gwydr (GHG), ac i gyflwyno potensial lliniaru fel % o'r sector pan fo hynny'n bosibl. Pan fo opsiynau SCM yn arwain at fuddion ychwanegol, er enghraifft buddion bioamrywiaeth, dylid nodi hynny.

## SCM mewn priddoedd wedi'u gwella

Gofynnodd Llywodraeth Cymru i'r adolygiad nodi cyfleoedd i wella stoc garbon glaswelltiroedd wedi'u gwella. Er mwyn cynnwys popeth, rydym hefyd yn cynnwys ymyriadau ar dyndiroedd. Roedd yn rhaid i gyfleoedd a ganfuwyd fod yn barhaol.

## SCM mewn priddoedd wedi'u gwella

Yma, gofynnodd Llywodraeth Cymru am nodi mecanweithiau ar gyfer dadwneud y dirywiad mewn carbon pridd mewn priddoedd ucheldir yng Nghymru.

### Talfyriadau:

<b>SCM</b>	Rheoli Carbon Pridd
<b>SOC</b>	Carbon Organig Pridd
<b>SOM</b>	Deunydd Organig Pridd
<b>DOC</b>	Carbon Organig Tawdd
<b>POC</b>	Carbon Organig Gronynnol
<b>GMEP</b>	Rhaglen Monitro a Gwerthuso Glastir
<b>CS</b>	Arolwg Cefn Gwlad
<b>LULUCF</b>	Defnydd Tir, Newid Defnydd Tir a Choedwigaeth
<b>N</b>	Nitrogen
<b>P</b>	Ffosfforws
<b>K</b>	Potasiwm
<b>NPK</b>	Gwrtai, gweler y dair rhes uchod
<b>Mg</b>	Magnesiwm
<b>LOI</b>	Colled Wrth Danio
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Ocsid Nitraidd
<b>CH<sub>4</sub></b>	Methan

## 1.1 Cefndir

Mae gwyddonwyr a ffermwyr yn cydnabod bod deunydd organig pridd (SOM) a charbon organig pridd (SOC) yn tanategu ffwythiannau a gwasanaethau pridd pwysig. Mae SOM yn chwarae rôl gritigol wrth gylchu maethynnau, cadw dŵr pridd a chynnal strwythur pridd (Bot a Benites, 2005). Mae SOM yn effeithio ar reoli adnoddau dŵr, sydd yn dod yn gynyddol berthnasol o ystyried amledd eithafion hydrolegol. Er enghraifft, mae SOM yn effeithio ar nodweddion hydrologig a gwrthedd

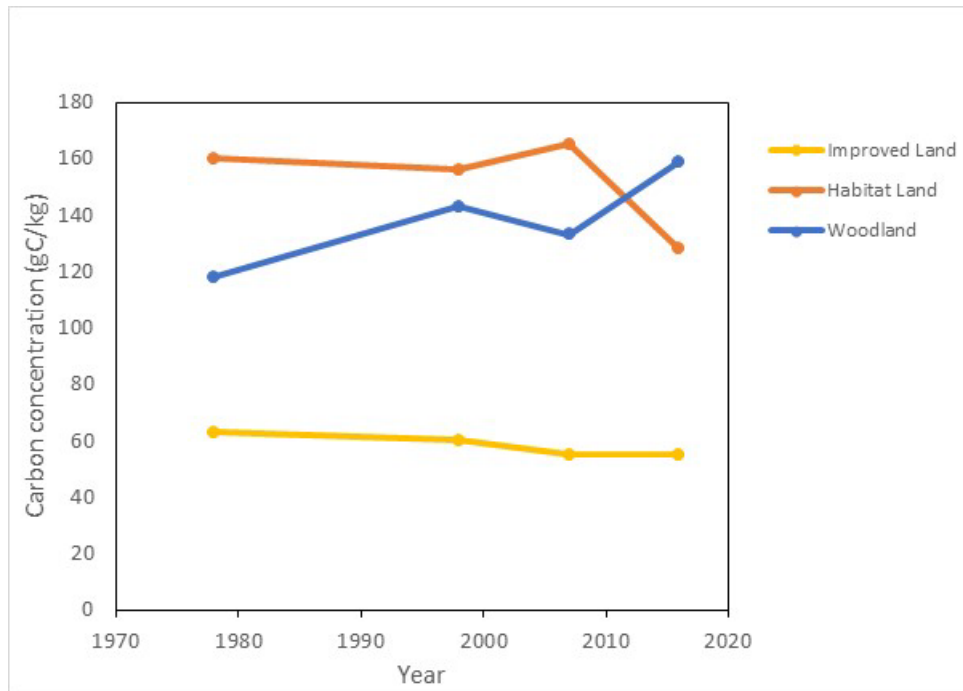
dŵr pridd (Hermansen et al., 2019), ymdreiddiad a storio dŵr, ac felly cyflymder dŵr wyneb ffo ac ail-lenwi dŵr tir (Robinson et al., 2010).

Yn y cyd-destun amaethyddol gall SOM hefyd gynyddu cnydau a rhwyddineb ffermio, gan greu buddion posibl i ffermwyr. Mae SOM wedi cael ei gysylltu'n uniongyrchol â chynnydd mewn cnydau nad ydynt yn godlysiâu ar ffermydd organig (Brock et al., 2011), a gall gynyddu'r ystod o gynnwys dŵr ar gyfer troi tir (cynyddu ymarferoldeb, Obour et al., 2018). Mynegwyd pryderon y gall fod yna lefelau sydd yn is na lefelau critigol (2%) o SOC pan effeithir ar brosesau pridd a chynhyrchiant amaeth. Ond bychan yw'r dystiolaeth ansoddol o hynny (Loveland a Webb, 2003).

Mae'r fantais o ganlyniad i SOC a amlygwyd amlaf yn ymwneud â lliniaru newid yn yr hinsawdd. Fel cydnabyddiaeth o bwysigrwydd SOC mewn perthynas â lliniaru newid yn yr hinsawdd, mae menter ryngwladol 4 bob milltir, neu 4 mewn mil wedi ymddangos (<https://www.4p1000.org/>). Mae'r fenter hon yn amlygu y gallai cynnydd bychan (0.4%) mewn stociau C yn achos pob math o bridd yn fyd-eang ostwng lefel y CO<sub>2</sub> yn yr atmosffer yn sylweddol. Mae papurau dilynol wedi herio maint y potensial oherwydd e.e. arwynebedd y tir a reolir yn fyd-eang, effeithiau negyddol diogelwch bwyd os tynnir tir allan o gynhyrchiant bwyd, prinder deunydd organig sydd ar gael i ffermwyr a/neu'r defnydd helaeth o ymarferion all gynyddu C mewn pridd (e.e. Poulton et al., 2018). Er enghraifft, yn y DU gellir cyflawni enillion SOC o fwy na 4 mewn mil drwy fewnbynau organig a mewnbynnau a weithgynhyrchwyd, cyflwyno gwndwn pori i systemau â'r choedwigo tir â'r (Poulton et al., 2018). Ond, mae'n rhaid cydnabod nad yw cynnydd lleol mewn stociau SOC (h.y. "storio SOC") o reidrwydd yn golygu lliniaru newid yn yr hinsawdd. Fel mae Chenu et al. (2019) yn ei bwysleisio, gellir trin "storio SOC" fel rhywbeth ar wahân i "atafaelau SOC"; mae'r olaf yn awgrymu tynnu CO<sub>2</sub> o'r atmosffer yn flynyddol mewn gwirionedd, gan gyfrannu at ostyngiadau net mewn allyriadau nwy tŷ gwydr yng Nghymru. Yn achos systemau â'r, dylid nodi hefyd bod carbon pridd wedi bod yn gostwng ar gyflymder o 0.4% rhwng 1978 a 2007 ym Mhrydain Fawr drwyddi draw h.y. y duedd sydd yn gwbl groes a hyrwyddir gan fenter 4 mewn mil (Reynolds et al. 2013).

Yn ogystal â chynyddu SOC ar dir fferm amgaeedig (sydd yn nodweddiadol dlawd o ran garbon), mae'n bwysig gwarchod a rheoli cynefinoedd sydd eisoes â stociau uchel o SOC. Mewn gwirionedd, y cynefinoedd â stociau uchel o SOC sydd yn gyffredinol yn wynebu'r bygythiad mwyaf gan ddirwyniad SOC (Crowther et al., 2016). Er enghraifft, adroddodd Bellamy et al. (2005) am dystiolaeth o ddirwyriad mewn Carbon (C) uwchbridd ar draws Cymru a Lloegr rhwng 1978 a 2003, yn arbennig mewn ardaloedd megis ucheldir Cymru sydd eisoes â stociau uchel o C (er na chanfu gwaith cydamserol ganfod tystiolaeth glir o ostyngiad mewn SOC ym Mhrydain Fawr yn ei chyfanrwydd na'i gwledydd unigol yn cynnwys Yr Alban. Gweler Chamberlain et al., 2010; Kirby et al., 2005 yn ôl eu trefn). Adroddwyd am ddirwyriad cyffelyb mewn SOC yn fwy diweddar yn ucheldir Cymru yn achos tir 'cynefin' rhwng 2007 a 2016 drwy Raglen Monitro a Gwerthuso Glastir (Ffigwr 1.1.1; Emmett a thîm GMEP, 2017). O ystyried maint stociau SOC ucheldir, gall dirwyriadau o'r fath fod yn drech nag enillion SOC posibl ar dir fferm amgaeedig. Yn gyffredinol, gan systemau tir pori wedi ei wella, oherwydd eu trechedd o ran arwynebedd, mae'r storfa garbon pridd uchaf, sef 48% o garbon pridd hyd at ddyfnder o 1m (Bradley et al. 2005). Dangosodd diweddariad i wella amcangyfrifon ar gyfer priddoedd organig bod priddoedd mwynau sydd â'r storfa fwyaf o C pridd ar 45%, a bod priddoedd organig yn cynrychioli 30% a phriddoedd organo-fwynol yn cynrychioli 18% pan gyfrifir hynny y tu hwnt i ddyfnder o 1m (Smith et al, 2007). Pwysleisiodd yr astudiaeth ddiweddaraf (Evans et al., 2015) bod dwysedd carbon pridd h.y. C pridd ar sail arwynebedd, ar ei

fwyaf mewn mawndiroedd, ac felly'n darparu opsiwn lliniaru posibl effeithlon iawn o ran arwynebedd.



**Ffigwr 1.1.1** Newid mewn crynodiad carbon uwchbridd (0-15cm) (g C/kg) ar draws Cymru ers 1978 fel yr aseswyd hynny gan GMEP (Emmett a thîm GMEP 2017). Tir 'cynefin' yw'r holl dir nad yw'n goetir ac sydd heb ei wella. Yr unig newidiadau arwyddocaol ystadegol yw yn achos colli crynodiad C pridd o 2007 i 2016 ar dir 'Cynefin'.

Ar hyn o bryd mae gan briddoedd Cymru lefelau canolraddol o gynnwys C o'i gymharu â Lloegr ar Alban, sydd yn awgrymu bod peth potensial i wella (Emmett et al., 2010). Ond mae'r potensial i C pridd lliniaru allyriadau GHG amaethyddol ar briddoedd mwynol ac organo-fwynol yn gyfyngedig am y rhesymau a amlinellir gan Poulton et al. (2018); mae mesurau eraill megis adfer mawndir, defnyddio ffynonellau ynni amgen a dal carbon mewn biomas coed yn dangos addewid.

Wrth ystyried ymyriadau i gynyddu neu i warchod stociau SOC, mae'n bwysig ystyried y mecanweithiau sydd yn arwain at golli neu ennill SOC. Mae SOC yn cael ei ennill yn bennaf drwy fewnbynnau deunydd organig o lystyfiant, ac fe'i collir drwy anadlu microbaidd, cynaeafu, tân, difrod pryfed a thrwytholchi fel carbon organig tawdd (DOC) (Smith, 2008). Mae amrywiad gofod-amser yn y prosesau cyferbyniol yma yn cael ei reoli gan gyfuniad o ddaear a defnydd tir, ond ffactorau hinsawdd hefyd (Smith et al., 2008a). Mae newid defnydd tir a newid yn yr hinsawdd yn cael eu tanategu gan amaethyddiaeth; o ystyried bod 88% o arwynebedd tir Cymru yn 2015 yn cael ei ddefnyddio fel tir amaethyddol (Armstrong, 2016), mae'n hanfodol deall sut y mae ymarferion amaethyddol yn effeithio ar SOC. Bydd hynny yn helpu i ddatblygu Cynllun Ffermio Cynaliadwy er mwyn cynyddu faint o garbon a atafaelir mewn priddoedd heb fod hynny yn effeithio ar fusnesau ffermydd a'u gallu i ddarparu buddion lluosog i'r amgylchedd ac i gymdeithas yn ehangach.

## 1.2 Cyfyngiadau trawsbynciol ar gynnydd mewn SOC

Bydd yr adroddiad hwn yn adolygu dulliau o gynyddu SOC ar dir fferm amgaaedig fesul ymyrraeth, ond mae yna gyfyngiadau cyffredinol ar storio ac atafaelu SOC sydd yn drawsbynciol i raddau:

- Mae cynnydd mewn SOC o ganlyniad i newid penodol mewn dull o reoli neu ddefnydd tir yn gynydd y mae terfyn iddo. Bydd stociau SOC yn tueddu i ddirllenwi wrth gyrraedd stad ecwilibriwm newydd (Powlson et al., 2011). Yn yr un modd, gall enillion SOC posibl fod ar eu uchaf mewn ardaloedd sydd ar hyn o bryd â stoc SOC isel (Minasny et al., 2017) sydd yn destun newidiadau mewn defnydd tir, yn hytrach na mân newidiadau rheoli (Schlesinger ac Amundson, 2019).
- Efallai na fydd cynnydd mewn SOC o ganlyniad i newid penodol mewn dull o reoli neu ddefnydd tir fod yn barhaol. Mae dychwelyd i'r dull rheoli gwreiddiol yn debygol o ryddhau SOC a gronnwyd (Powlson et al., 2011). Hefyd, gall rhyddhau SOC ddigwydd yn gyflymach na chrynodu SOC (Soussana et al., 2004).
- Gall ymyriadau i gynyddu SOC achosi effeithiau dadleoli. I ddechrau gallent gynyddu allyriadau CO<sub>2</sub> amaethyddol. Mae cynhyrchu gwrrtaith N yn gyfrifol am 70% o allyriadau GHG amaethyddol (IPCC, 2007); gall allyriadau o ganlyniad i ddefnyddio mwy ar wrtaith N wrthbwysu enillion SOC yn llwyr. Yn ail, gallent gynyddu allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr (GHG) pwerus eraill, yn arbennig N<sub>2</sub>O a CH<sub>4</sub> (Powlson et al., 2011). Yn olaf, gallent ostwng SOC mewn mannau eraill (neu atal cynnydd mewn SOC), er enghraifft drwy ddwysáu amaethyddol er mwyn bodloni'r galw (neu arallgyfeirio mewnbynnau organig o gaeau eraill, Powlson et al., 2011).
- Ond, gall cynyddu SOM arwain hefyd at effeithiau synergaid drwy leihau allyriadau GHG amaethyddol; mae Powlson et al. (2011) yn dadlau y gallai cynnydd bychan mewn SOM wella priodoleddau pridd a chynhyrchiant planhigion wrth leihau dibyniaeth ar wrtaith N (Johnston et al., 2009).

Mae cyfyngiadau eraill ar gyflawni "4 bob mil" yn cynnwys prinder adnoddau, yn ogystal â'r ffaith bod rhai ymarferion yn aneconomaidd ar hyn o bryd a/neu'r sefyllfa o ran pryderon diogelwch bwyd (Poulton et al., 2018). Er bod SOM yn rhan gynyddol o agendau ffermwyr, mae maethynnau sydd yn uniongyrchol gysylltiedig â chnydau yn tueddu i gael blaenoriaeth (Cyswllt Ffermio 2019, *cyfathrebiad personol*) ac ar brydiau defnyddir mwy arnynt nag sydd ei angen ar gyfer cynhyrchiant.

## 1.3 Gwaith blaenorol ar dueddiadau ac ysgogiadau SOC

Roedd Bellamy et al. (2005) yn priodoli dirywiad mewn C uwchbridd yng Nghymru a Lloegr i effeithiau newid yn yr hinsawdd, ond dadleuwyd nad yw newid yn yr hinsawdd yn eglurhad digonol (Hopkins et al., 2009; Smith et al., 2007a). Mae Bellamy et al. (2007a) yn awgrymu y gallai mân ddirywiadau mewn priddoedd mwynol a reolir fod yn cael eu hysgogi gan fewnbynnau gwrrtaith, llai o fewnbynnau gwaddod cnydau, a throi tir yn ddwfn; dadleuwyd bod dirywiadau mwy mewn priddoedd organig yn cael eu hachosi gan ddraenio, adferiad o asideiddio, dyddodiad nitrogen, llosgi, gwrrteithio, cyfyngu ac arteffactau o'r dull a ddefnyddiodd Bellamy et al. (2005) i gyfrifo dwysedd swp (Smith et al., 2007a). Mae astudiaethau eraill wedi canfod dystiolaeth o ddirywiadau mewn SOC ar dir â'r a chynnydd ar laswelltir wedi'i

wella rhwng 1979 a 2007 (Chamberlain et al., 2010; Emmett et al., 2010), ond ni chanfuwyd unrhyw dystiolaeth o newid cyffredinol mewn C pridd ar draws pob defnydd tir a gweithdrefnau rheoli. Ond, yng Nghymru, mae dirywiadau canfyddiadol wedi digwydd mewn crynodiadau C mewn cynefinoedd ucheldir rhwng 2007 a 2016 (Emmett a thîm GMEP, 2017), ac mae ysgogwyr y duedd yma yn destun ymchwiliad. Un canfyddiad cyson yw pan fo dirywiadau SOC yn digwydd, gallent ddigwydd yn anghymesur mewn ardaloedd sydd â stociau C cychwynnol uwch (Bellamy et al., 2005; Crowther et al., 2016; Goidts a van Wesemael, 2007; Reijneveld et al., 2009) er bod y canfyddiad cyson o ddirywiad mewn nifer o briddoedd â r/a reolir yn ddwys yn mynd yn erbyn y duedd yma (e.e. Reynolds et al. 2013). Er hynny, mae tueddiadau SOC yn deillio'n gyffredinol ar sail 0-30cm uchaf y pridd, felly ni ellir bod yn sicr i ba raddau mae hynny yn cynrychioli cyfanswm stoc SOC (Buckingham et al., 2013). Mewn rhai systemau, mae'r C a storir yn is na 1m yn cyfateb i >50% o'r C a storir uwch ben 1m (Jobbagy a Jackson, 2000).

Mae'n ddiddorol gosod tueddiadau yn y DU mewn cyd-destun rhyngwladol. Yn yr Iseldiroedd arsylwyd ar gynnydd mewn C uwchbridd mwynol mewn tir amaethyddol o 1984-2004 (Reijneveld et al., 2009). Yng Ngwlad Belg, arsylwyd ar ostyngiadau mewn priddoedd â r, a chynnydd mewn priddoedd glaswelltir o 1955-2005 (Goidts a van Wesemael, 2007; Lettens et al., 2005). Yn ddiddorol, mae Goidts a van Wesemael (2007) yn priodoli gostyngiadau mewn tir â r i ostyngiad mewn mewnbynau organig a newidiadau cynyddio, tra bod cynnydd mewn glaswelltir yn cael ei briodoli i gynnydd mewn dwysedd da byw. Ar y llaw arall, dadleuodd Poeplau et al. (2015) y gellid priodoli cynnydd o 7.7% mewn SOC uwchbridd (0-20cm) yn Sweden yn bennaf i gynnydd mewn gwndwn gwair fel cyfran o gyfanswm. Canfuwyd gostyngiadau yn iseldiroedd Seland Newydd (Schipper et al., 2007). Gall priodoledau pridd a daeareg yn yr ardaloedd uchod fod yn wahanol iawn i briddoedd yng Nghymru a Lloegr.

Adolygwyd effeithiau rheoli ac amodau pedoclimatig ar SOC mewn man arall (Buckingham et al., 2013; Conant, 2010; Freibauer et al., 2004; Powlson et al., 2011; Schils et al., 2008; Smith et al., 2008b; Wiesmeier et al., 2019). Fel rheol gyffredinol, mae C pridd yn cynyddu gyda dyddodiad (glaw) a chynnwys clai, ac yn gostwng gyda thymheredd. Hefyd, mae'n hanfodol gysylltiedig â llystyfiant; mae'n bosibl mai llystyfiant yw'r prif fecanwaith i ddyddodiad effeithio ar C pridd (Jobbagy a Jackson, 2000).

Mae'n amlwg y gall newidiadau i ddulliau rheoli mewn perthynas â math o ddefnydd tir effeithio ar SOC (Smith et al., 2008b). Mae rhai ymyriadau rheoli yn gymwys i briddoedd wedi'u gwella a phriddoedd ucheldir e.e. dwysedd pori, er y gallai eu deilliannau fod yn wahanol yn ddibynnol ar y cyd-destun. Ond, mae newid mawr mewn defnydd tir yn gritigol i SOC (Powlson et al., 2011); mae adroddiadau a gasglwyd mewn perthynas â rhestr GHG, ac adroddiadau eraill, yn casglu bod effaith rheoli tyndir a glaswelltir ar SOC yn debygol o fod yn fychan o'i gymharu â newid defnydd tir (Conant et al., 2001; Moxley et al., 2014). Yn yr adroddiad yma cyfeirir at newid defnydd tir fel ymyriadau, o fannau cychwyn tyndir, glaswelltiroedd wedi'u gwella ac ucheldiroedd. Hefyd ymdrinnir yn fras ag atal newid defnydd tir.

Y tu hwnt i stociau SOC, mae sefydlogrwydd SOC yn bwysig hefyd. Mae cynnydd mewn SOM sefydledig yn ddelfrydol oherwydd bod hynny yn llai agored i golledion yn y dyfodol. Gall elfen fwynol y pridd chwarae rôl arwyddocaol hefyd o ran arafu dadelfennu SOC: Mae Castellano et al. (2015) yn crynhoi sut mae peth SOC yn cael ei sefydlogi mewn ffracsiynau pridd mwynol, ac mae hynny yn rhyngweithio ag



ansawdd torllwyth, ond mae yna effeithiau dirlenwi. Ond, mae SOC mewn mawn a haenau organig ar yr wyneb yn storfeydd hirdymor pwysig, yn arbennig mewn priddoedd ucheldir, corydd a ffeniau. Mae yna gyfyngiadau amlwg i storio SOC mewn priddoedd mwynol, sydd yn wahanol i briddoedd mawndir all barhau i dyfu o ran màs a swm yn absenoldeb aflonyddiad.

Mae'r adolygiad yma yn amcanu at grynhai ac adeiladu ar adolygiadau blaenorol, gan syntheseiddio canlyniadau yn erbyn set o ymyriadau ac ymarferion allweddol yng nghyd-destun Cymru. Ystyrir ymyriadau mewn tri chyd-destun: glaswelltir wedi'i wella, tyndir a chynefinoedd ucheldir. Nid yw llawer o'r dystiolaeth sydd ar gael yn deillio o Gymru, felly mae yna gyfyngiadau o ran cymhwyso i Gynllun Ffermio Cynaliadwy Cymreig. Ond, pan fo'n bosibl rydym yn amlygu ymchwil sydd yn digwydd yn agos i Gymru neu mewn cyd-destun pedo-hinsoddol cyffelyb.

## 2 Deilliannau

Mae mwy o ddeunydd organig, ac C o ganlyniad i hynny, yn y pridd yn cyfrannu at y deilliannau canlynol:

1) Lliniaru newid yn yr hinsawdd

Mae SOC yn storfa garbon gritigol, er bod lliniaru GHG o ffynonellau amaethyddol eraill yn bwysig iawn hefyd (Powlson et al., 2011). Efallai bod ymyriadau sydd yn cynyddu SOC yn effeithio'n anuniongyrchol hefyd ar lliniaru newid yn yr hinsawdd, yn gadarnhaol ac yn negyddol.

2) Gwell cynhyrchiant

Disgwylir y bydd colli SOM yn effeithio'n negyddol ar gynhyrchiant (Quinton et al., 2010). I'r gwrthwyneb, gall cynnydd mewn SOM gynyddu cynhyrchiant a'r gallu i drin y tir (Brock et al., 2011; Obour et al., 2018). Ond, mae effeithiau cadarnhaol SOM ar gynhyrchu planhigion yn cael eu tanategu mewn rhai ffyrdd gan brosesau dadfeilio carbon; mae deunydd organig pridd yn danwydd i ficrobau ac anifeiliaid sydd yn cyflawni swyddogaethau pridd allweddol (Janzen, 2006). Hefyd gall cynyddu SOC er mwyn cynyddu cynhyrchiant gynnwys "defnyddio" SOC fel adnodd.

3) Lefelau is o risg ariannol

Gall cynnydd mewn SOM gefnogi lefelau cynhyrchiant sefydlog yn ystod digwyddiadau eithafol e.e. sychder, o ganlyniad i gadw mwy o leithder a chynhyrchiant planhigion cysylltiedig. Profwyd bod cysylltiad rhwng lefelau SOM a llai o risg erydiad (Smith et al., 2008a). Hefyd gallai rhai ymyriadau addawol i gynyddu SOC leihau dibyniaeth ffermwyr ar wrtaith a weithgynhyrchwyd, y mae eu prisiau yn debygol o newid.

4) Lefelau is o risg biolegol ac amgylcheddol

Gall SOM leihau dŵr wyneb ffo cyflym o ganlyniad i law yn treiddio mwy i'r pridd a/neu storio yn y pridd (Robinson et al., 2010). Gall hynny leihau'r risg o drosglwyddo gwrtaith, gwastraff organig, gwaddod a chemegau rheoli i gyrff dŵr.

### 2.1 Metrigau a dilysu trawsbynciol

Mae'n gritigol bod ymyriadau yn darparu ychwanegolrwydd (h.y. mae camau yn cael eu cymryd, ac allbynnau yn cael eu cynhyrchu, y tu hwnt i'r rhai fyddai wedi cael eu cymryd yn absenoldeb ymyrraeth). Mae hynny yn gofyn am ddealltwriaeth o (1) fesuriadau cyn ymyrraeth o fetrigau perthnasol, ond hefyd (2) a oedd ffermwyr neu dirfeddianwyr eisoes yn mynd i gynnal ymyrraeth, neu rywbeth cyffelyb, boed cymhelliant allanol yn bodoli neu beidio. Er enghraifft, yn nhermau sicrhau deilliannau amgylcheddol, mae'n ofer cynnig taliadau am lai o fewnbynnau gwrtaith ar dir sydd ar hyn o bryd yn cael ei reoli fel glaswelltir bras, a hynny heb dderbyn cymwysiadau gwrtaith. Byddai hynny yn wir oni bai fod y ffermwr neu'r tiffeddiannwr yn debygol iawn o wella'r tir hwnnw, er enghraifft wrth ymateb i newid yng ngrymoedd y farchnad. Yn yr un modd, mae'n bwysig atal newid y dull rheoli mewn rhai ardaloedd (h.y. atal draenio mawndir) ond ysgogi newid mewn dull rheoli mewn mannau eraill (h.y. llai a/neu well cymhwyso gwrtaith wedi ei dargedu). Mae'n anodd iawn canfod y cydbwysedd rhwng y ffactorau uchod, ac efallai nad yw'n bosibl cael gwybodaeth gyflawn.

Fel y nodir yn yr adroddiad drwyddo draw, mae'n bwysig hefyd sicrhau nad yw effeithiau dadleoli yn digwydd. Er enghraifft, os bydd ffermwr yn cael ei ddigolledu er mwyn cynyddu SOC mewn un cae, gallai hynny achosi effaith canlyniadol ar gaeau eraill ar eu fferm heb ennill neu golli SOC. Yn y un modd, gallai ymyriadau ar gyfer SOC ar un fferm arwain at effeithiau canlyniadol ar SOC mewn ffermydd eraill, er ei bod yn anodd iawn rhagfynegi neu fesur effeithiau o'r fath. Mae un astudiaeth hyd yn oed yn awgrymu y gallai "arbed tir", pan fo amaethu yn cael ei ddwysau ar dir cynhyrchiol tra bod cynefin yn cael ei adfer ar dir nad yw'n gynhyrchiol, fod yn strategaeth hyfyrw ar gyfer lliniaru newid yn yr hinsawdd (Lamb et al., 2016).

### 2.1.1 Samplo pridd a mesuriadau SOC

Yn nhermau metrigau a gwirio SOC, mesuriadau drwy brofi pridd yw'r safon aur. O gael cyfleoedd a diddordeb ymysg ffermwyr mewn samplo maethynnau pridd critigol, gall fod yna synergeddau fyddai'n golygu y byddai profi SOC yn fforddiadwy.

O dan GMEP, mae tueddiadau SOC a adroddir yn seiliedig ar golled wrth danio (LOI, Emmett a thîm GMEP, 2017). Mae dulliau eraill ar gael o fesur C pridd, ond gall y rhain fod yn fwy costus a llafurus (Wang et al., 2012). Hefyd mae'n bwysig mesur dwysedd swp er mwyn deall newidiadau mewn stoc SOC.

Mae'r canlynol yn fetrigau pridd sydd yn addas ar gyfer arolwg cenedlaethol o SOC, a gellid ei gynnal mewn asesiad strwythuredig (archwiliad annibynnol o bosibl):

- Data labordy ymchwil (pH, LOI, dwysedd swp etc.)
- Data asesiad gweledol (Cyflwr mawn, nodweddion erydiad)
- Data holiadur ffermwyr (e.e. presenoldeb draeniau caeau)

Mae'r canlynol yn fetrigau pridd eraill sydd yn addas ar gyfer addysgu ffermwyr am gyflwr pridd a gellid eu casglu mewn ffordd lai strwythuredig (h.y. y ffermwyr yn ei arwain).

- Data labordy masnachol (N, P, K, Mg)
- Data asesiad gweledol (Gwerthusiad Gweledol o Strwythur Pridd: VESS)

Gallai awgrym o lif gwaith ar gyfer ymyriadau cysylltiedig ag C pridd fod fel a ganlyn:

1. Mae ffermwr yn cynnal asesiad elfennol gan fapio'r fferm mewn perthynas ag opsiynau posibl y cynllun
2. Mae'r ffermwr yn cyfarfod â rheolwr contractau ac yn cytuno ar gynllun opsiynau
3. Mae'r ffermwr (a/neu archwiliwr annibynnol) yn rhoi mesurau ar waith ar ddechrau'r opsiynau
4. Mae'r ffermwr yn rhoi'r opsiynau ar waith
5. Mae'r ffermwr (a/neu archwiliwr annibynnol) yn rhoi mesurau ar waith ar ddiwedd y cyfnod asesu

Mae ystyriaethau ar gyfer datblygwyr y cynllun yn cynnwys:

- A fydd yna daliad elfennol ar gyfer rhoi ymyrraeth ar waith?
- A fydd yna flaendal am gyflawni canlyniad penodol (h.y. cynnydd mewn SOC)?

### 2.1.2 Procsiaid ar gyfer SOC

Yn absenoldeb mesuriadau SOC, mae yna beth cwmpas i seilio taliadau ar brocsiaid ar gyfer deilliannau (h.y. y gweithredoedd), a chwmpas cyfyngedig ar gyfer

buddsoddiadau cyfalaf (e.e. had ar gyfer sefydlogi N biolegol neu arallgyfeirio). Gallai canllawiau elfennol ar gyfer taliadau ddefnyddio adolygiadau blaenorol a rhestr Defnydd Tir, Newid Defnydd Tir a Choedwigaeth (LULUCF) (Buckingham et al., 2013; Freibauer et al., 2004; Smith et al., 2008b, 2007b). Ond, bydd cost ymyrraeth yn ffactor bwysig iawn i ffermwyr, ac mae'n rhaid ystyried hynny.

### 2.1.3 Arian cyhoeddus a phreifat ar gyfer SOC

Gall cronfeydd y sector preifat weithio ar y cyd â chronfeydd cyhoeddus, cyn belled bod mecanweithiau ariannu cyhoeddus a rheoliadau wedi eu sefydlu i ganiatáu hynny.

Mae mesur fflycsau a storfeydd carbon pridd yn bwysig, er mwyn cyfiawnhau ariannu i reolwyr tir ac fel ffordd bosibl o sicrhau ffynonellau arian eraill o'r sector preifat. Mae'r gwaith o ddatblygu'r cod carbon mawndir wedi cael ei ysgogi yn rhannol er mwyn hwyluso cyllido preifat o'r fath (gweler yr adran isod - "Gwarchod ac Adfer Mawndiroedd"). Drwy sefydlu dull cyson a gwiriadwy o fesur atafaelu carbon dyluniwyd y cod carbon mawndir er mwyn lleihau costau trafodion a rhoi hyder i rai fyddai'n dymuno prynu credydau carbon (Evans et al., 2019a; Smyth et al., 2015). Ar hyn o bryd mae pryniannau o'r fath wedi eu cyfyngu i farchnad wirfoddol fechan yn y DU, er bod cynllun peilot i brynu credydau carbon o waith adfer mawndir yn Swydd Gaerhirfryn gan Faes Awyr Heathrow yn ddatblygiad diddorol diweddar. (<https://your.heathrow.com/heathrow-airport-unveils-plan-for-carbon-neutral-growth/>).

Mae gan fasnachu carbon pridd y potensial i dyfu fel marchnad wirfoddol. Yn dilyn y duedd ddiweddar i gyflawni colled net neu enillion net mewn prosiectau seilwaith ( e.e. gan Network Rail a Highways England), byddai rhwymedigaethau cyffelyb i fod yn garbon niwtral neu garbon positif yn ysgogi galw arwyddocaol am gredydau carbon. Yn wahanol i fioamrywiaeth, gellid prynu credydau o'r fath o unrhyw le yn y byd, ond mae'n debygol y bydd yna alw am gredydau'r DU gan rai busnesau yn y DU (fel y dangoswyd gan Heathrow). Hefyd gall camau gan y Llywodraeth ysgogi'r farchnad, gyda'r angen i ddefnyddio rheoli defnydd tir fel ffordd o storio carbon yn cael ei nodi'n ddiweddar yn y cyngor gan y Pwyllgor Newid yn yr Hinsawdd (<https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/Land-use-Reducing-emissions-and-preparing-for-climate-change-CCC-2018.pdf> : argymhelliad 1: Dylai polisi defnydd tir newydd hyrwyddo defnyddiau tir trawsnewidiol a gwobrwyo tiffeddianwyr am ddeilliannau amgylcheddol sydd yn lliniaru'r hinsawdd ac yn cyflawni amcanion addasu).

### 3 Perthnasedd polisi a Deilliannau Polisi

Y prif berthnasedd polisi ar gyfer y testun yma mewn perthynas â blaenoriaethau Polisi Cyfoeth Naturiol sydd yn cefnogi deilliannau Deddf Llesiant Cenedlaethau'r Dyfodol (Cymru) a chynaliadwyedd a rheoli Deddf Egwyddorion Naturiol yn yr Amgylchedd (Cymru) yw:

- *Adfer ein hucheldir a'u rheoli ar gyfer bioamrywiaeth, carbon, dŵr, risg llifogydd a buddion hamdden*

Gyda chyd fuddion posibl ar gyfer:

- *Cynnal, gwella ac adfer gorlifdiroedd a systemau hydrolegol er mwyn lleihau risg llifogydd a gwella ansawdd a chyflenwad dŵr; (yn cynnwys dulliau rheoli dalgylchoedd, rheoli llifogydd naturiol, rheoli pridd etc.)*

## 4 Ymyriadau ar Laswelltiroedd wedi'u Gwella

Mae glaswelltir wedi'i wella yn ddefnydd tir pwysig a helaeth yng Nghymru (Armstrong, 2016). Nid oes yna un diffiniad o laswelltir wedi'i wella a dderbynnir. Mae gwaith blaenorol yng Nghymru wedi categorioeddio glaswelltir wedi'i wella yn seiliedig ar orchudd rhywogaeth a glaswelltir allweddol wedi'i wella, yn arbennig *Lolium perenne* a *Trifolium repens* (Emmett a thîm GMEP, 2017). Yma rydym yn diffinio glaswelltir wedi'i wella fel glaswelltir sydd yn derbyn mewnbynnau agrocemegol (e.e. calch, tail, gwrtaithe wedi'i weithgynhyrchu), nad yw'n rhan o gylchdro â. Mae'r diffiniad yma yn amwys yn ei hanfod; mae'r llenyddiaeth ar SOC glaswelltir wedi'i wella yn amrywiol, ac nid yw awduron bob amser yn nodi eu diffiniad eu hunain o laswelltir.

### 4.1 Cynnydd mewn Gwrtaithe a Weithgynhyrchwyd

#### 4.1.1 Achosiaeth

**PINC:<sup>1</sup> Mae yna dystiolaeth o du allan i Gymru sydd yn cefnogi cynnydd mewn SOC yn dilyn cymhwyso gwrtaithe wedi'i weithgynhyrchu i dir wedi'i wella ar briddoedd mwynol. Mae'r dystiolaeth o Gymru yn brin. Hefyd mae yna effeithiau difrifol, yn benodol llygredd nitrogen a chynnydd mewn allyriadau GHG. Mae agronomeg a thargeddu yn hanfodol er mwyn sicrhau SOC a chynhyrchiant wrth leihau'r effeithiau.**

Gall tyfiant planhigion gael ei gyfyngu gan argaeledd Nitrogen, Ffosfforws neu Botasiwm. Defnyddir gwrtaithe wedi'u weithgynhyrchu gyda'r bwriad o godi cyfyngiadau maethynnau a chynyddu cynhyrchiant planhigion. Nid yw profi pridd yn arferiad cyffredin ar laswelltir wedi'i wella yng Nghymru, felly yn aml nid yw'n eglur ble a sut mae tyfiant planhigion yn cael ei gyfyngu gan argaeledd maethynnau. Mae cyfraddau cymhwyso N, P a K ar draws Prydain Fawr wedi gostwng am dros 30 mlynedd (<https://www.agindustries.org.uk/sectors/fertiliser/uk-fertiliser-consumption-trends-and-statistics/>) heb unrhyw ganlyniadau negyddol amlwg o ran crydau, ac mae hynny yn awgrymu bod mwy o wrtaithe yn cael ei ddefnyddio nag sydd ei angen ar y crydau.

Gall gwrtaithe wedi'i weithgynhyrchu cynyddu mewnbynnau C i'r pridd drwy ddeunydd planhigion ac archwysyadau gwreiddiau (Buckingham et al., 2013). Hefyd gall gwrtaithe wedi'i weithgynhyrchu effeithio ar SOC drwy'r gymuned microbaidd. Mae Poeplau et al. (2018) yn awgrymu y gallai cynnydd mewn SOC a achosir gan wrtaithe fod wedi ei ysgogi gan gynnydd mewn effeithlonrwydd defnyddio C microbaidd. Byddai hynny yn arwain at gynnydd mewn necromas microbaidd, gan gyfrannu at sefydlogi C ym mân ffracsiwn mwynol y pridd.

Ond, gall ffrwythloni N hefyd gynyddu ansawdd torllwyth planhigion (h.y. gostwng y gymhareb C:N mewn torllwyth), gan gyflymu mwyneiddiad C drwy anadlu microbaidd (Lu et al., 2011). Canfu Soussana et al. (2004) bod gwrtaithe N cymedrol yn cynyddu SOC, oherwydd bod cynnydd mewn mewnbynnau carbon yn fwy na'r cynnydd mewn mwyneiddiad C. Bu iddynt hefyd ganfod y gallai gwrtaithe N dwys gynyddu mwyneiddiad C yn sylweddol a gostwng SOC.

---

<sup>1</sup> Gweler codio lliw yn cael ei ddiffinio a'i ddefnyddio yn Adran 8.

Ni chanfu Hassink (1994) unrhyw gynnydd mewn carbon pridd o ganlyniad i wrteithio N yn eu hastudiaeth maes. Hefyd, canfu Hopkins et al. (2009) effeithiau cymysg o ganlyniad i amrywiaeth o driniaethau gwrtaithe wedi'u gweithgynhyrchu ar dueddiadau SOC mewn glaswelltiroedd arbrofol. Canfu meta-ddadansoddiad gan Lu et al. (2011) bod ychwanegu nitrogen yn cynyddu C pridd mewn tyndir, ond ddim mewn coedwigoedd na glaswelltir. Asesodd Soussana et al. (2007) gyllidebau GHG 9 safle glaswelltir a dangos bod storio C yn gadarnhaol gysylltiedig â chyflenwad gwrtaithe N, ond roedd hynny yn cynrychioli cyfuniad o wrtaith organig a gwrtaithe wedi'i weithgynhyrchu.

#### 4.1.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Gweler ar adolygiad Rheoli Maeth Pridd ar wahân i gael mwy o wybodaeth am y math yma o ymyrraeth. Mae yna gyfnewid amlwg a difrifol rhwng atafaelu C a ysgogir gan wrtaith ac allyriadau CO<sub>2</sub> wrth gynhyrchu gwrtaithe. Mae 80% o'r N a weithgynhyrchir drwy broses Haber-Bosch yn cael ei ddefnyddio ar gyfer gwrtaithe amaethyddol (Erisman et al., 2008). Mae proses Haber-Bosch yn defnyddio llawer o ynni (Smith, 2002) a symiau mawr iawn o danwydd ffosil. Mae Poeplau et al. (2018) yn awgrymu y dylid ystyried ôl troed llawn atafaelu SOC a ysgogir gan wrtaith. Maent yn dadlau y gellid cyflawni gostyngiad mewn allyriadau CO<sub>2</sub> os newidir gwrtaithe NPH am wrtaith PK a sefydlogi N gan godlysiau.

Gall ychwanegu N adweithiol i'r pridd gynyddu allyriadau N<sub>2</sub>O (Freibauer et al., 2004). Gall hynny achosi cyfnewid difrifol â storfa C ar ôl defnyddio gwrtaithe, yn arbennig o ystyried bod potensial cynhesu byd-eang N<sub>2</sub>O yn 310 gwaith gymaint â CO<sub>2</sub> (Buckingham et al., 2013). Bydd cynnydd mewn allyriadau N<sub>2</sub>O yn arbennig o uchel os bydd y defnydd o wrtaith yn ormodol neu wedi ei amseru'n wael, felly gallai amseru mwy effeithiol leddfu ychydig ar yr effaith yma (Powlson et al., 2011).

Yn gyfun, mae'r cyfnewidiadau yma yn golygu y dylid pwylllo wrth ddefnyddio gwrtaithe wedi'i weithgynhyrchu ar gyfer lliniaru newid yn yr hinsawdd (er bod yna ddadleuon o blaid gwrtaithe wedi'i weithgynhyrchu ar gyfer cynhyrchu bwyd). Mae hynny oherwydd gall buddion storio C o ganlyniad i wrtaith N gael ei wrthbwysu gan allyriadau GHG wrth gynhyrchu a defnyddio gwrtaithe (Freibauer et al., 2004). Mewn arbrawf yn Broadbalk yn Rothamsted, roedd yr allyriadau GHG blynyddol o wrtaith N yn bedair gwaith gymaint na'r cynnydd blynyddol mewn SOC (Powlson et al., 2011). Mae'n amlwg y gall cynyddu defnyddio N yn effeithlon chwarae rôl bwysig wrth leddfu effeithiau o'r fath.

Cyfnewid posibl arall yw cynnydd mewn trwytholchi nitrad a llygredd nitrogen, yn arbennig pan ddefnyddir gormod o wrtaith neu pan gaiff ei amseru'n wael (Goulding et al., 2000). Gallai hynny leihau cynhyrchiant systemau dŵr ffres ac arfordirol cysylltiedig yn achos pysgod a physgod cregyn, yn ogystal â nifer o fuddion eraill sydd yn deillio o adnoddau dŵr (e.e. hamdden).

Un cyd fuddiant amlwg o ganlyniad i ddefnyddio mwy o wrtaith wedi'i weithgynhyrchu yw cynnydd mewn cynhyrchiant planhigion a chynhyrchu bwyd ar dir fferm. Ond, gall fod yna wrthdaro rhwng SOC a chynhyrchiant. Canfu Soussana et al. (2007) y gellid gwrthbwysu cynnydd mewn SOC o ganlyniad i wrtaith N drwy ddefnyddio hawl pori drwy dorri a phori. Os yw defnyddio gwrtaithe bob amser yn gysylltiedig â chynnydd mewn defnyddio hawl pori, efallai y bydd deilliannau storio SOC yn cael eu disbyddu. Er hynny, mae Soussana et al. (2007) yn awgrymu, yn absenoldeb cyflenwad N a defnyddio hawl pori, bod glaswelltiroedd yn sinciau C net.

### 4.1.3 Maint

Mae Poeplau et al. (2018) wedi ymchwilio i effeithiau gwrteithio mwynol (N, PK, NPK, a dognau cynyddol o NPK) mewn saith o arbrofion gwrteithio glaswelltir hirdymor yn Yr Almaen a'r Iseldiroedd. Canfuwyd effeithiau gwrtaith PK ( $0.28 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ) ac NPK ( $0.13 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ) sylweddol dros 34 o flynyddoedd. Canfuwyd effeithiau dognau cynyddol o wrtaith PK ( $0.37 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ) sylweddol dros 20 o flynyddoedd. Mae Soussana et al. (2004) yn adrodd am atafaeliad o  $0.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  o ganlyniad i wrteithio glaswelltiroedd a lefel isel o faethynnau, ond  $-0.9 - 1.1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  ar gyfer dwysau priddoedd organig. Hefyd canfu adolygiad diweddar oedd yn ategu rhestr GHG LULUCF rhwng  $-21$  a  $27 \text{ t C ha}^{-1}$  o effeithiau newid mewn dulliau rheoli oedd yn ymwneud â defnyddio gwrtaith wedi ei weithgynhyrchu (Buckingham et al., 2013).

Yn aml mae effeithiau gwrtaith N ar SOC yn cyfuno ag effeithiau ymarferion rheoli tir eraill, megis defnyddio tail: mae un meta-ddadansoddiad yn adrodd y gall gwrteithio yn gyffredinol (tail a gwrtaith wedi ei weithgynhyrchu) arwain at gynnydd o  $0.3 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  mewn SOC (Conant et al., 2001). Ymchwiliodd Ammann et al. (2007) i gyllideb C glaswelltir tymherus, oedd newydd gael ei droi o fod yn dir â, am dair blynedd. Bu iddynt ganfod bod storio SOC yn  $2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  yn uwch o dan reolaeth "ddwys", pan ddefnyddiwyd tail a gwrtaith N, na thriniaeth "helaeth" pan na ddefnyddiwyd dim tail na gwrtaith. Mae Smith et al. (2008b) yn adrodd bod cynnydd mewn pori, gwrteithio neu dân ar laswelltiroedd yn arwain at liniaru  $\text{CO}_2$  o  $0.11 - 1.5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  mewn ardaloedd cymharol glaeur a llaith.

### 4.1.4 Amserlen

Gall newidiadau mewn SOC ddigwydd hyd yn oed yn ystod cyfnodau byr. Gwelodd Ammann et al. (2007) gynnydd mewn storio SOC ar laswelltir oedd newydd gael ei greu y rhoddiwyd tail a gwrtaith N arno o fewn dair blynedd. Mae Poeplau et al. (2018) wedi cofnodi cynnydd mewn SOC yn ystod 20-37 blynedd.

### 4.1.5 Materion gofodol

Mae Buckingham et al. (2013) yn adrodd am gynnydd mewn SOC o ganlyniad i ddefnyddio gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu ar briddoedd mwynol. Ond, rhybuddiodd yr awduron bod effeithiau dwysau ar briddoedd organig yn llai dealliedig ac yn negyddol mae'n debyg. Er enghraifft, mae Bellamy et al. (2004) yn adrodd am atafaeliad o  $0.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  o ganlyniad i wrteithio glaswelltiroedd a lefel isel o faethynnau, ond  $-0.9 - 1.1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  ar gyfer dwysau priddoedd organig.

Gallai allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  o ganlyniad i wrteithio N fod yn fwy difrifol mewn ardaloedd sydd eisoes â gwarged o N; mae allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  a raddiwyd yn ôl cynydu yn cynyddu'n esbonyddol gyda gwarged N, felly bydd ychwanegu gwrtaith N yn y manau anghywir yn cynyddu allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  yn anghymesur (van Groenigen et al., 2010).

### 4.1.6 Dadleoli

Yn ei hanfod gall allyriadau GHG o danwydd ffosil a  $\text{N}_2\text{O}$  ddadleoli cynnydd lleol mewn SOC - gweler y cyfnewidiadau uchod.



### 4.1.7 Hirhoedledd

Gyda phopeth arall yn hafal (e.e. pwysau pori heb newid) mae cynnydd mewn SOC yn debygol o gael ei ddadwneud petai wrtaith wedi ei weithgynhyrchu ddim yn cael ei ddefnyddio mwyach.

### 4.1.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Mae Lu et al. (2011) yn cynnig y gall mwy o CO<sub>2</sub>, gynyddu cyfyngiadau N mewn ecosystemau. Efallai mai effeithiau cadarnhaol gwrteithio N ar SOC ac atafaeliad C yw bod hynny yn cael ei gynyddu gyda mwy o CO<sub>2</sub>.

### 4.1.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Mae gwrtaith NPK yn ddrud a gellir cysylltu prisiau i brisiau olew. Ond, bychan iawn yw'r rhwystrau o ran ei ddefnyddio oherwydd bod yr ymarfer yma eisoes yn eang ar draws glaswelltiroedd wedi'u gwella a thyndiroedd yng Nghymru. Mae ymgynghoriad â ffermwyr yn awgrymu nad yw defnydd o 150 kg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> yn anghyffredin ar laswelltir wedi'i wella (Cyswllt Ffermio 2019, *cyfathrebiad personol*). Gall ffermwyr yng Nghymru fod yn eithaf agored i fentrau sydd yn cynyddu, gostwng neu'n targedu'r defnydd o wrtaith wedi'i weithgynhyrchu, er ei bod yn debygol y bydd diweddu defnyddio gwrtaith ar gaeau dwys yn cael ei ystyried fel rhywbeth anghynhyrchiol ac yn economaidd anffafriol.

Mae contractwyr yn gynyddol wedi arfer ag optimeiddio'r defnydd o wrtaith gan ddefnyddio GPS. Mae hyn yn ystyriaeth bwysig mewn perthynas ag ymyriadau gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu.

## 4.2 Gwrtaith Organig

### 4.2.1 Achosiaeth

**GLAS<sup>2</sup>: Mae yna dystiolaeth dda y gall mewnbynnau organig sydd wedi eu targedu'n ofalus gynyddu SOM mewn glaswelltir wedi'i wella ar briddoedd mwynol. Mae'r buddion ar eu gorau pan fo dibyniaeth ar wrtaith wedi'i weithgynhyrchu yn cael ei leihau, ynghyd ag allyriadau GHG cysylltiedig. Rhaid cymryd gofal er mwyn osgoi gormod o fwynau a thrwytholchi nitrogen.**

Yn yr un modd â gwrtaith wedi'u weithgynhyrchu, bwriedir i wrtaith organig godi cyfyngiadau maethynnau a chynyddu cynhyrchiant planhigion. Yn ogystal â mewnbynnau organig uniongyrchol, mae cynyddu mewnbynnau C i'r pridd yn deillio o ddeunydd planhigion ac archwysladau gwreiddiau (Buckingham et al., 2013). Gall effeithiau cadarnhaol defnyddio tail ar SOC fod yn fwy nag effeithiau gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu: Defnyddiodd Jones et al. (2006) amrywiaeth o dail, slyri a gwrtaith mwynol ar laswelltiroedd wedi ei dorri yn ne Yr Alban, a chanfod bod yr holl driniaethau tail yn cynyddu crynodiad C uwchbridd ac nad oedd gwrtaith mwynol yn gwneud hynny. Yn ddiddorol, arsylwyd ar gynnydd mewn SOC er gwarthaf cynnydd mewn DOC a cholledion CO<sub>2</sub> drwy anadlu.

Asesodd Soussana et al. (2007) gyllidebau GHG naw safle glaswelltir a dangos bod storio C yn gadarnhaol gysylltiedig â chyflenwad gwrtaith N, ond roedd hynny yn cynrychioli cyfuniad o wrtaith organig a gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu.

---

<sup>2</sup> Mae'r codio lliw yn gysylltiedig â lefelau hyder fel yr eglurir hynny yn llawnach yn Adran 8.

Mae un astudiaeth yn awgrymu y gall prosesu gwrtaith organig, er enghraifft drwy gynhyrchu gweddillion treuliad anaerobig, gynyddu effeithiau storio SOC; mae Chenu et al. (2019) yn amlygu nifer o astudiaethau sydd yn awgrymu mwy o storio SOC hirdymor o gyfansoddion cyfnewidiol sydd yn diraddio'n hawdd nag o ddeunydd ystyfnig sydd yn gyfoethog mewn lignin. Gall hynny fod yn wir oherwydd bod cyfansoddion cyfnewidiol yn cael eu prosesu gyda mwy o effeithlonrwydd defnydd carbon microbaidd, gan gynyddu storio SOC fel necromas microbaidd. Eglurhad arall yw bod cyfansoddion toddadwy yn symud mewn pridd rhwng wynebau mwynol, ble gellir eu gwarchod. Ond, aeth arbrawf mawr ati i gymharu effeithiau compost, tail, gweddillion treuliad anaerobig a slyri ar wahanol briodoleddau pridd a chnydau ar saith safle yn y DU (WRAP, 2015). At ei gilydd, canfu'r arbrawf bod compostau a thail ffermydd yn cynyddu SOC o'i gymharu â gweddillion treuliad anaerobig neu slyri (gyda dogn eithaf tebyg o N). Oherwydd hynny, mae'n dal yn aneglur ai deunydd organig "ffres" neu "wedi ei brosesu" fydd yn arwain at y buddion mwyaf i atafaeliad C, yn arbennig o ystyried allyriadau posibl wrth brosesu deunydd organig.

#### 4.2.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Gweler ar adolygiad Rheoli Maeth Pridd ar wahân i gael mwy o wybodaeth am y math yma o ymyrraeth. Gall defnyddio tail a chompost yn hytrach na slyri, gweddillion treuliad anaerobig neu wrtaith wedi'i weithgynhyrchu cynyddu niferoedd pryfed genwair, argaeledd maethynnau a chnydau (WRAP, 2015). Hefyd, gyda chynllun rheoli maethynnau integredig, gellid creu arbedion sylweddol mewn perthynas â gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu.

Cyfnewidiadau allweddol mewn perthynas â defnyddio tail a ganfuwyd yn ystod adolygiad i hysbysu rhestrau LULUCF oedd trwytholchi nitrad ac allyriadau  $N_2O$  (Moxley et al., 2014), yn arbennig pan ddefnyddir gormod neu pan amserir hynny yn wael. (Goulding et al., 2000). Mewn gwirionedd, gall y cyfnewidiadau yma fod yn fwy difrifol am bob kg o N mewn tail o'i gymharu â gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu (Bergström a Goulding, 2005). Canfu Jones et al. (2006) yn achos rhai mathau o wrtaith organig (ond nid pob un) bod allyriadau  $N_2O$  yn drech na'r cynnydd mewn SOC, o ystyried potensial cynyddol  $N_2O$  mewn perthynas â chynhesu byd-eang. Yn achos gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu, mae targedu gwrtaith organig yn gritigol; gall colli maethynnau, llygredd ac allyriadau fod yn arbennig o aciwt os defnyddir tail ar yr adeg anghywir (Powlson et al., 2011). Oherwydd nad yw symiau maethynnau mewn mewnbynnau organig yn gwbl hysbys, gall gormod o faethynnau nad ydynt yn N ddigwydd hefyd (e.e. P).

Un cyd fuddiant amlwg o ganlyniad i ddefnyddio mwy o wrtaith organig yw cynnydd mewn cynhyrchiant planhigion a chynhyrchu bwyd ar dir fferm. Er hynny, mae Soussana et al. (2007) wedi canfod y gellid gwrthbwyso cynnydd mewn SOC o ganlyniad i wrtaith N drwy ddefnyddio hawl pori drwy dorri a phori. Os yw defnyddio gwrtaith organig bob amser yn gysylltiedig â chynnydd mewn defnyddio hawl pori, efallai y bydd deilliannau storio SOC yn cael eu disbyddu. Er hynny, mae Soussana et al. (2007) yn awgrymu, yn absenoldeb cyflenwad N a defnyddio hawl pori, bod glaswelltiroedd yn sinciau C net.

Gall mewnbynnau gwrtaith organig ddadleoli mewnbynnau gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu, er enghraifft systemau ffermio organig. Gallai hynny ddarparu buddion ar y cyd sylweddol drwy lai o allyriadau o weithgynhyrchu gwrtaith. Mae Smith et al. (2011) wedi adolygu buddion posibl ffermio organig ar atafaeliad SOC yng Nghymru. Er ei bod yn aneglur a fyddai newid i ffermio organig yn cynyddu SOC

ar y safle, canfuwyd buddion posibl o ran lai o allyriadau GHG o gynhyrchu gwrtaith. Ond, mae'n rhaid pwysu a mesur effaith gostyngiad o'r fath mewn allyriadau yn erbyn allyriadau ar y safle o ganlyniad i ddefnyddio tail (Powlson et al., 2011).

Mae Freibauer et al. (2004) yn amlygu y gall defnyddio tail wella strwythur pridd a chapasiti dal dŵr. Mae'r awdur hefyd yn awgrymu y gall ffafrio defnyddio tail ar dir âr atal allyriadau nwy hybrin sydd yn fwy amlwg pan ddefnyddir tail ar laswelltir.

### 4.2.3 Maint

Canfu adolygiad i hysbysu rhestrau LULUCF (Buckingham et al., 2013) newidiadau cadarnhaol mewn stociau C pridd o ganlyniad i ddefnyddio slyri neu dail ( $0.7$  i  $15$  t C ha<sup>-1</sup>). Adroddodd Jones et al. (2006) am storio C o  $15.7$ - $48.3$  t C ha<sup>-1</sup> ar ôl defnyddio tail am chwe blynedd. Mae Smith et al. (2008b) yn adrodd am botensial lliniaru CO<sub>2</sub> o  $-0.62$  –  $6.20$  t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> ar gyfer defnyddio tail neu fiosaiddau mewn ardaloedd claeaf a llaith, er bod hynny yn cynnwys tyndir a glaswelltir.

Ar brydiau mae effeithiau defnyddio tail ar gyfer SOC yn cael eu cyflwyno yn gyfun ag ymyriadau eraill. Mae meta-ddadansoddiad gan Contant et al. (2001) yn adrodd y gall gwrteithio yn gyffredinol (tail a gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu) arwain at gynydd o  $0.3$  t C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> mewn SOC.

### 4.2.4 Amserlen

Gall cynnydd mewn SOC ddigwydd dros gyfnodau byr. Adroddodd Jones et al. (2006) am effeithiau cadarnhaol o ganlyniad i ddefnyddio tail ar gyfer SOC ar laswelltir wedi'i dorri o fewn chwe blynedd.

### 4.2.5 Materion gofodol

Dylid pwylllo rhag cyffredinoli effeithiau defnyddio tail ar briddoedd sydd yn organig gyfoethog. Er bod yna gefnogaeth gref i effeithiau cadarnhaol defnyddio tail ar gyfer SOC ar briddoedd mwynol, casglodd adolygiad Buckingham et al. (2013) y gallai mewnbynnau i briddoedd pori sydd yn organig gyfoethog arwain at ostyngiad mewn SOC.

Gallai allyriadau N<sub>2</sub>O o ganlyniad i wrteithio N fod yn fwy difrifol mewn ardaloedd sydd eisoes â gwarged o N; mae allyriadau N<sub>2</sub>O a raddiwyd yn ôl cynydu yn cynyddu'n esbonyddol gyda gwarged N, felly bydd ychwanegu gwrtaith N yn y manau anghywir yn cynyddu allyriadau N<sub>2</sub>O yn anghymesur (van Groenigen et al., 2010).

### 4.2.6 Dadleoli

Gallai targedu gwrtaith organig er mwyn adeiladu stociau carbon mewn un ardal gael ei wrthbwysu drwy dynnu mewnbynnau carbon yn rhywle arall (Conant, 2010). Gellid targedu defnyddio tail er mwyn cynyddu SOC ar briddoedd âr (sydd â deunydd organig isel fel pwynt cychwynnol) yn hytrach nag ar laswelltiroedd (Buckingham et al., 2013; Powlson et al., 2012, 2011). Er nad yw newidiadau lleol mewn SOC ar eu pennau eu hunain yn lliniaru newid yn yr hinsawdd (Chenu et al., 2019), gallai targedu o'r fath arwain at ostyngiad net mewn allyriadau GHG. Hefyd dylid ystyried ffawd amgen gwrteithiau organig eraill, megis gwastraff gwyrdd o gartrefi. Byddai hynny yn sicrhau na fyddai cynnydd lleol mewn SOC yn cael ei wrthbwysu gan ostyngiad mewn SOC neu allyriadau yn rhywle arall.

Hefyd, gallai atgyfeirio gwrtaith organig fel eu bod yn cael eu defnyddio ymhellach oddi wrth y man cynhyrchu gynyddu allyriadau nwy o ganlyniad i gludiant (Freibauer et al., 2004).

#### 4.2.7 Hirhoedledd

Fel yn achos gwrteithiau a weithgynhyrchir, gyda phopeth arall yn hafal, byddai diweddu defnyddio tail yn debygol o ddadwneud cynnydd mewn SOC. Hefyd, gall effeithiau cadarnhaol SOC ddirlenwi, fel y dangoswyd gan arbrawf gwenith Broadbalk yn Rothamsted (Powlson et al., 2012).

Mae un arbrawf yn awgrymu y gallai deunydd cyfoethog mewn lignin ddarparu SOM arbennig o sefydlog sydd yn gallu gwrthsefyll dadelfennu (WRAP, 2015).

#### 4.2.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Gall effeithiau gwrtaith organig wanhau o dan amodau sychder cynyddol. Mae Smith et al. (2008b) yn adrodd am botensial lliniaru cymedrig is o ganlyniad i ddefnyddio tail neu fiosolidau mewn ardaloedd sych o'u cymharu ag ardaloedd llaith. Hefyd, canfu Hopkins et al. (2006) bod cynnydd mewn allyriadau N<sub>2</sub>O ar ôl defnyddio gwrtaith organig yn fwy yn ystod blwyddyn arbennig o wlyb yn ystod yr astudiaeth chwe blynedd.

Mae Lu et al. (2011) yn cynnig y gall mwy o CO<sub>2</sub>, gynyddu cyfyngiadau N mewn ecosystemau. Efallai mai effeithiau cadarnhaol gwrteithio N ar SOC ac atafaeliad C yw bod hynny yn cael ei gynyddu gyda mwy o CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Mae ffermwyr yn gynyddol ymwybodol o'u hadnoddau gwrtaith organig, ac mae gan nifer ohonynt y seilwaith i'w daenu ar eu caeau eisoes. Ond, nid yw tail a slyri yn tueddu i gael eu rhannu rhwng ffermydd o dan berchnogaethau gwahanol (Cyswllt Ffermio 2019, cyfathrebiad personol). Oherwydd hynny gall fod yna rwystrau cymdeithasol ac economaidd rhag dosbarthu gwrteithiau organig wedi eu targedu. Mae adolygiad o Buckingham et al. (2013) yn nodi "hyd yn oed mewn un fferm, mae defnyddio tail yn aml yn cael ei wneud yn anghyson, ac mae'r caeau sydd agosaf at yr adeiladau da byw yn cael eu ffafrio".

### 4.3 Calchu

#### 4.3.1 Achosiaeth

**AMBR:** Mae angen mwy o ddata yng nghyd-destun Cymru, i lunio casgliad ar effeithiau calchu C pridd. *Gallai* defnyddio calch wedi ei dargedu'n ofalus er mwyn lleihau mewnbynnau gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu lleihau allyriadau a chynyddu cynhyrchiant. Gall fod yna risgiau yn gysylltiedig â chalchu priddoedd organig.

Mae calchu (calsiwm carbonad) yn cael ei ddefnyddio er mwyn cynyddu pH tir amaethyddol pan fo asidedd yn cyfyngu ar gynhyrchiant planhigion. Gall hynny effeithio ar SOC i ddechrau drwy gynyddu cynhyrchiant planhigion, ond hefyd drwy effeithio ar ddadelfennu C (Buckingham et al., 2013). Mae ymchwil a gynhaliwyd yn Rothamsted yn awgrymu y gall calchu gynyddu SOC (Fornara et al., 2011). Roedd calchu yn cynyddu gweithgaredd biolegol yn y pridd, ac er bod anadliad pridd wedi cynyddu, roedd mewnbynnau pridd planhigion yn cael eu hymgorffori'n fwy parod i

byllau organo-fwynol. Ond, mae priddoedd gwellt parc Rothamsted yn briddoedd mwynol sydd â SOC cychwynnol isel o'i gymharu â'r rhan fwyaf o laswelltiroedd Cymru.

Adolygodd Paradelo et al. (2015) effaith calchu ar stociau SOC, gan ganfod effeithiau amrywiol ar draws glaswelltiroedd, tyndiroedd a choetiroedd. Daethant i'r casgliad bod effeithiau calchu yn dibynnu'n fawr ar gyd-destun, a bod angen mwy o ddata.

Gall calchu fod yn gysylltiedig ag ymarferion amaethyddol eraill, megis draenio a gwrtaith N. Mae angen mwy o ymchwil a meta-ddadansoddi effeithiau calchu ar SOC yng nghyd-destun Cymru, gan ystyried dulliau rheoli ehangach ac effeithiau dros gyfnodau hir.

### 4.3.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Mae cynnydd mewn pH ar ôl calchu yn gysylltiedig ag allyriadau CO<sub>2</sub> (Gibbons et al., 2014). Am bob 2 mol o asid gaiff ei niwtraleiddio gan galsiwm carbonad, gallai hyd at i mol o CO<sub>2</sub> gael ei ryddhau i'r atmosffer (Whitmore et al., 2015). Mae Snyder et al. (2009) yn cynnig: "Un ffordd bosibl o osgoi'r allyriadau sydd yn gysylltiedig â defnyddio calch yw defnyddio ocsid (e.e. calch brwd neu galch tawdd) yn hytrach na deunyddiau carbonad, os gellir eu cynhyrchu gan adfer CO<sub>2</sub>". Efallai bod yna gyfleoedd hefyd i ddefnyddio silicadau yn hytrach na charbonadau i atal yr allyriadau CO<sub>2</sub> ychwanegol o galch amaethyddol (Whitmore et al., 2015). Hefyd, gall echdynnu carreg galch fod yn broses ddinistriol.

Mae calchu yn arwain at gyd fuddiant o ran cynnydd mewn cynhyrchiant, yn ddibynnol ar y pridd y'i rhoddir arno (Paradelo et al., 2015) Hefyd, gallai calchu gynyddu effeithlonrwydd effeithiau gwrtaith NPK ar gynhyrchiant, gan leihau'r angen am NPK o bosibl a'i allanolion negyddol (Gibbons et al., 2014).

Gall calchu arwain at effeithiau canlyniadol ar fiota llynnoedd a chyrsgiau dŵr derbyn. Nid yw'r effeithiau hynny yn negyddol o reidrwydd e.e. adfer tacsia sydd yn sensitif i asid (Shapiera et al., 2012).

### 4.3.3 Maint

Yn Rothamsted, arweiniodd calchu at gynnydd o 16.2 t C ha<sup>-1</sup> mewn SOC mewn cyfnod o ~100 o flynyddoedd (Fornara et al., 2011).

### 4.3.4 Amserlen

Gallai effeithiau ar SOC gymryd amser hir i ddigwydd: Yn Rothamsted, daeth effeithiau calchu yn amlwg ar ôl ~50 o flynyddoedd (Fornara et al., 2011).

### 4.3.5 Materion gofodol

Fel yn achos gwrteithio, dylid pwylllo wrth gyffredinolli canlyniadau mewn perthynas â phriddoedd organig. Arbrofodd Rangel-Castro et al. (2004) gyda chalchu dogn uchel byr dymor ar briddoedd ucheldir a chanfod gostyngiad mewn SOC, gan awgrymu bod cynnydd mewn dadelfennu C yn drech na mewnbynnau planhigion. Yn yr un modd bu i, Lochon et al. (2018) arbrofi gyda gori priddoedd o dair ardal glaswelltir yn Ffrainc, a chanfod bod ychwanegu calch yn gyson yn cynyddu mwyneiddiad C yn gyson a chynhyrchiant CO<sub>2</sub> dros 84 o flynyddoedd.

Mae'n bosibl y bydd calchu ar briddoedd organig yn newid y system o fod yn un cynhyrchiant isel, dadelfennu SOC isel o dan amodau anaerobig i fod yn un

cynhyrchiant uchel, dadelfennu SOC uchel o dan amodau anaerobig. Nid yw effeithiau newid o'r fath ar gyfnewid CO<sub>2</sub> wedi eu datrys.

### 4.3.6 Dadleoli

Nid oes digon o dystiolaeth i drafod effeithiau calchu ar ddadleoli.

### 4.3.7 Hirhoedledd

Nid oes digon o dystiolaeth i drafod hirhoedledd effeithiau calchu ar SOC.

### 4.3.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Nid oes digon o dystiolaeth i drafod effeithiau calchu ar SOC mewn perthynas â rhyngweithiadau hinsawdd.

### 4.3.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Mae calchu wedi cael ei annog gan gymhelliannau yn y gorffennol, a gynyddodd amledd y defnydd - mae costau buddsoddi yn rhwystr mewn perthynas â rheoli calchu (Gibbons et al., 2014). Yn ddiweddar mae calchu wedi bod ar gynnydd yn ddiweddar yng Nghymru (Cyswllt Ffermio, *cyfathrebiad personol*). Gall cymhelliannau ar gyfer calchu fod yn boblogaidd iawn ymysg ffermwyr oherwydd effeithiau cadarnhaol ar gynhyrchiant a defnydd o faetholion gan blanhigion. Efallai y bydd cymhelliannau i leihau calchu yn cael eu herio oherwydd bod cynhyrchiant yn cael ei leihau.

## 4.4 Pori a Thorri

### 4.4.1 Achosiaeth

**AMBR:** Mae'r berthynas rhwng pori/torri a SOC yn gymhleth. Gall lleihau gorburi fod o fudd i SOC a chynhyrchiant. Mae pori a thorri hefyd yn cael gwared o C llystyfiannol o'r tir, ac mae da byw sydd yn ei fwyta yn cynhyrchu GHG sydd yn gryfach na CO<sub>2</sub>.

Defnyddir pori a thorri i echdynnu enillion o laswelltir. Mae hynny yn uniongyrchol yn tynnu C o'r system (Soussana et al., 2007), ond mae hefyd yn effeithio ar leithder pridd a thyfiant planhigion o ganlyniad i hynny (a SOC o ganlyniad i hynny; Abdalla et al., 2018). Mae anifeiliaid sydd yn pori hefyd yn darparu mewnbynnau N crynodedig i'r pridd drwy dail a wrea, ac mae hynny yn effeithio mwy ar gynhyrchiant a SOC (Soussana and Lemaire, 2014). Mae archwysyadau gwreiddiau yn llwybr pwysig ar gyfer trosglwyddo C o blanhigion i bridd (Jones et al., 2009) ac mae peth dystiolaeth yn awgrymu y gall pori wella arllwyso carbon o wreiddiau (Hamilton III et al., 2008). Mae'n amlwg bod y berthynas rhwng anifeiliaid sydd yn pori a chyllidebau GHG yn gymhleth (Garnett et al., 2017).

Mae Soussana a Lemaire (2014) yn dweud, ar ddwysedd stoc isel, bod llysysyddion yn gwella cynhyrchiant sylfaenol net a storio SOC o ganlyniad i hynny. Ond, gall pori dwys leihau argaeledd dŵr, addasu cyfansoddiad cymuned planhigion ac ysgogi gostyngiad mewn cynhyrchiant (a SOC o ganlyniad i hynny; Abdalla et al., 2018). Gall pori eithafol ddisbyddu llystyfiant wyneb ac achosi erydiad yn yr uwchbridd. Yn unol â'r uchod, canfu meta-ddadansoddiad gan Zhou et al. (2017), er ei bod yn ymddangos bod pori yn arwain at gynnydd bach mewn C pridd, bod pori cymedrol i drwm yn gostwng SOC yn arwyddocaol yn arbennig yn y biomas microbaidd.

Asesodd Soussana et al. (2007) gyllidebau GHG 9 safle glaswelltir a dangos bod yna gysylltiad negyddol rhwng storio C a defnyddio hawliau pori drwy dorri a phori. Maent wedi cyflwyno'r ddamcaniaeth bod "storio carbon net am bob uned o arwynebedd tir yn gostwng mewn perthynas â llysysyddion yn defnyddio C".

Er hynny, mae Smith et al. (2007b) wedi adrodd am effeithiau cymysg pori dwys ar liniaru allyriadau CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> a N<sub>2</sub>O; mae canlyniadau yn ddibynnol ar ymarferion pori, rhywogaethau planhigion, priddoedd a hinsawdd. Canfu adolygiad arall o systemau pori helaeth (ychydig neu ddim gwrtait) bod effaith pori ar SOC yn dibynnu'n fawr ar gyd-destun a hinsawdd (Abdalla et al., 2018). Mewn gwirionedd, mewn hinsawdd glaeor a llaith (y categori tebygol ar gyfer y rhan fwyaf o laswelltiroedd yng Nghymru) roedd SOC yn gostwng mewn perthynas â dwysedd pori.

Gall newidiadau mewn amseru a dwysedd pori (pori cylchol) effeithio ar gynhyrchiant, tynnu a dyrannu C fflora ar laswelltiroedd (Buckingham et al., 2013). Yn yr un modd, mae Conant (2010) yn awgrymu buddion SOC o ganlyniad i leihau dwysedd pori tra bod rhywogaethau porthiant yn tyfu. Ond, nid oes llawer o gonsensws ynghylch effeithiau SOC mathau penodol o reoli pori oherwydd yr ystod o osodiadau ac ymarferion pori (Schils et al., 2008). Er enghraifft, nid yw effeithiau "pori torfol" ar SOC wedi eu datrys (Buckingham et al., 2013). Mae pori torfol yn golygu pori ar dir am gyfnodau byrrach gyda dwysedd stocio uwch. Ymchwiliodd Snyder et al. (2013) i effeithiau pori torfol ar SOC yn Iowa yn UDA, a chanfod nad yw pori torfol am dymor cyfan yn arwain at unrhyw fanteision o'i gymharu â phori cylchol neu bori lleiniau gyda'r un faint o borthiant.

Adroddodd Buckingham et al. (2013) effeithiau anghyson o ganlyniad i dorri glaswelltiroedd yn hytrach na'i bori, tra bod Hassink (1994) heb ganfod dim gwahaniaeth mewn SOC rhwng triniaethau pori a thorri yn eu hastudiaeth maes. Er hynny, mae Koncz et al. (2017) yn cynnig bod pori helaeth yn fwy cyfeillgar i'r hinsawdd na thorri gwair, oherwydd bod torri gwair yn arwain at allforio mwy o borthiant.

#### 4.4.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Gall pori ysgafn helpu i gynyddu SOC, ond mae da byw yn gysylltiedig ag allyriadau CH<sub>4</sub> a N<sub>2</sub>O (Buckingham et al., 2013) ac mae gan y ddau fwy o botensial mewn perthynas â chynhesu byd-eang na CO<sub>2</sub>. Yn gyffredinol mae dwysedd pori cynyddol y gysylltiedig â mewnbynnau agro-gemegol cynyddol, a gallai hynny achosi allanolion negyddol.

Drwy bori a thorri mae ffermwyr yn gwneud arian. Pan fo tir yn cael ei orbori, gall fod yna fuddion ar y cyd yn nhermau mwy o gynhyrchiant. Hefyd gallai cymedroli dwysedd pori arwain at gyd-fuddion mewn perthynas â llai o ddiraddio a chywasgu pridd (Freibauer et al., 2004). Ond, gallai lleihau dwysedd pori hefyd achosi cyfnewidiadau mewn perthynas â chynhyrchu bwyd.

#### 4.4.3 Maint

Canfu Liebig et al. (2005) yng Ngogledd America bod pori yn arwain at gynnydd o 0.16 t C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> mewn SOC er gwaethaf amrywiadau mawr. Adroddodd meta-ddadansoddiad y gall rheoli pori yn well, sydd yn golygu cyflwyno porwyr neu gynnal dwysedd pori cymedrol, arwain at gynnydd o 0.35 t C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> mewn SOC (Conant et al., 2001).

Canfu adolygiad i hysbysu rhestr LULUCF bod torri yn hytrach na phori glaswelltiroedd yn arwain at effeithiau cymysg ar SOC, a bod yr effeithiau yn amrywio o -25 i 14 t C ha<sup>-1</sup> (Buckingham et al., 2013).

#### 4.4.4 Amserlen

Mae amserlenni effeithiau dwysedd pori ar SOC yn aneglur.

#### 4.4.5 Materion gofodol

Fel yn achos gwrteithio a chalchu, mae'n ymddangos bod effeithiau pori yn dibynnu ar y man cychwyn yn nhermau SOC. Tybir y gall cynyddu mewn pori arwain at effeithiau cadarnhaol o fan cychwyn SOC isel, ond gall wrin anifeiliaid hefyd symud C drwy broffiliau pridd drwy gynyddu pH (Buckingham et al., 2013). Canfu Derner et al. (2006) bod pori yn cynyddu C pridd mewn glaswelltiroedd â SOC cychwynnol isel (peithiau gwellt byr), ond nad oedd yn effeithio dim ar laswelltiroedd â SOC cychwynnol uchel (peithiau gwellt hir). Tybiwyd bod y gwahaniaeth yn cael ei gymedroli gan newidiadau yn y gymuned planhigion. Yn yr un modd, casglodd Soussana et al. (2004) er y gallai dwysau glaswelltir parhaol arwain at gynydd mewn SOC, byddai dwysau glaswelltiroedd isel mewn maeth a ddatblygwyd ar briddoedd organig yn gostwng SOC.

#### 4.4.6 Dadleoli

Er y gallai newid o bori i dorri leihau allyriadau ar y safle o dda byw, dylid ystyried allyriadau o dreulio porthiant a gynaeafwyd oddi ar y safle (Soussana et al., 2007).

#### 4.4.7 Hirhoedledd

Mae'n aneglur a fyddai unrhyw gynydd mewn SOC yn cael ei gynnal petai ddwysedd pori yn dychwelyd i'w gyflwr gwreiddiol. Ond, mae'n debygol y byddai dychwelyd i orborei yn lleihau SOC.

#### 4.4.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Gall effeithiau pori ar SOC fod yn fwy cadarnhaol mewn amodau cynhesach a sychach. Mae adolygiad o Abdalla et al. (2018) yn amlygu astudiaethau sydd yn dangos y gall pori gynyddu SOC mewn ardaloedd sydd â glaw o 600mm neu lai, yn dibynnu ar y math o bridd; canfuwyd hefyd bod dwysedd pori isel-canolig mewn ardaloedd sych yn gysylltiedig â chynnydd mewn SOC. Maent yn cyfeirio at astudiaethau sydd yn dangos y gall pori dwys gynyddu cynnwys C gwreiddiau mewn ardaloedd â glaw eithafol (nid 400-850mm). Yn y rhan fwyaf o hinsoddau cynnes a llaith roedd SOC yn cynyddu wrth i bori dwysau, ond mewn hinsoddau claeaf a llaith roedd SOC yn lleihau wrth i bori dwysau.

#### 4.4.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Mae ffermwyr yn gwneud arian o bori a thorri, felly bydd yna rwystrau economaidd mewn perthynas ag ymyriadau cysylltiedig. Gall ffermwyr fod yn eithaf agored i fentrau mewn perthynas â phori cylchol, er enghraifft er mwyn optimeiddio cynhyrchiant planhigion wrth gynyddu SOC hefyd (Cyswllt Ffermio 2019, *cyfathrebiad personol*).



## 4.5 Rheoli Glastiroedd

### 4.5.1 Achosiaeth

**AMBR:** Mae effeithiau cadarnhaol sefydlogi nitrogen biolegol a phlanhigion lluosflwydd â gwreiddiau dwfn ar SOC wedi'i ddogfennu yn eang, ond nid mewn cyd-destun Cymreig. Er y defnyddir dulliau rheoli glastir i leihau mewnbynnau gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu, mae gan yr ymyriad yma botensial i ddiogelu SOC a chyd-fuddion ychwanegol. Bydd buddion i fywyd gwyllt yn gyfyngedig heb arallgyfeirio glastir sylweddol.

Tybir y gall glastir mwy amrywiol arwain at gynnydd mewn SOC. Rhan o'r rheswm am hyn yw presenoldeb grwpiau ffwythiannol allweddol sydd yn gritigol bwysig i SOC, ac sydd yn ategu ei gilydd - canfu Fornana Tilman (2008) bod codlysiau a gweiriau C4 yn cyfrannu'n arbennig at gronni SOC. Mae codlysiau yn cynyddu SOC drwy sefydlogi N a chynnydd cyfatebol mewn cynhyrchiant (Mortenson et al., 2004). Mae Chenu et al. (2019) yn adrodd am gonsensws bod mewnbynnau o dan y tir yn cyfrannu mwy at garbon pridd na mewnbynnau uwch ben y tir, a gall rhywogaethau lluosflwydd helpu i wella stociau SOC dwfn (Carter and Gregorich, 2010). Hefyd gall amrywiaeth planhigion cynyddol gynyddu mewnbynnau C i'r gymuned ficrobaidd (Steinbeiss et al., 2008). Ond, gall adfer ac ail hadu glaswelltir er mwyn sefydlu rhywogaethau arwain hefyd at ryddhau SOC (Schils et al., 2005).

Mae peth tystiolaeth o effeithiau amrywio glastir ar SOC yn awgrymu bod deilliannau yn dibynnu ar gyd-destun neu effeithiau gwaddol. Mae amrywiaeth yn tueddu i effeithio'n gadarnhaol ar gynhyrchiant, a gall maint yr effeithiau fod yn gymharol â newidiadau mawr eraill mewn dulliau rheoli (Weigelt et al., 2009). Ond, er y gall amrywiaeth gynyddu cyflymder cronni SOC ar laswelltiroedd newydd (Weisser et al., 2017), nid yw cynnydd mewn cyfanswm potensial storio SOC yn glir bob amser. Mewn enghraifft arall, dangosodd arbrawf pedair blynedd gynnydd mewn storio SOC mewn plotiau â mwy o ddwysedd planhigion (Steinbeiss et al., 2008). Roedd y canlyniadau yma ar dir a arferid ei reoli fel tir â; disgwyliwyd cynnydd mewn SOC, ond roedd amrywiaeth planhigion yn cynyddu cyflymder cronni C.

Tybir bod amrywiaeth rhywogaethau wedi'u gwella a gweiriau cynhyrchiol â gwreiddiau dwfn yn cynyddu SOC ar borfeydd cynhyrchiant isel (Buckingham et al., 2013). Mae Smith et al. (2008b) yn adrodd am effeithiau cadarnhaol o ganlyniad i gyflwyno rhywogaethau, yn arbennig gweiriau â gwreiddiau dwfn a chodlysiau, ar botensial lliniaru CO<sub>2</sub> a SOC.

### 4.5.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Gweler ar adolygiad Rheoli Glastir ar wahân i gael mwy o wybodaeth am y math yma o ymyrraeth. Gall hadu rhywogaethau porthi wedi'u gwella cynyddu cynhyrchiant os yw rhywogaethau wedi eu haddasu'n well i'r hinsawdd leol, yn fwy cydnerth i bori neu'n gallu rhoi nitrogen i'r pridd (Conant, 2010). Mae gan sefydlu glaswelltiroedd dwysedd uchel ar dir amaethyddol sydd wedi diraddio'r potensial i gynyddu cynhyrchiant gyda mewnbynnau N bychan (Tilman et al., 2006). Yn naturiol, mae cynnydd mewn amrywiaeth glastiroedd yn arwain at gyd-fuddion i fioamrywiaeth o ran planhigion ac infertebratau (Alison et al., 2017), ond gyda ffocws ar ffwythiant, gallai hynny ond arwain at gynnydd mewn rhai rhywogaethau allweddol yn unig.

Gallai defnyddio codlysiau yn hytrach na gwrtaith wrea leihau llygredd aer ar ffurf amonia. Gallai hadu codlysiau ddarparu cyd-fuddion drwy ostyngiad mewn

cynhyrchiant a defnyddio gwrtaith a weithgynhyrchwyd, sydd yn golygu llai o allyriadau CO<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>O, a llai o lygredd nitrogen (Lüscher et al., 2014). Mewn gwirionedd gall hadu codlysiâu yn hytrach na gwrtaith N leihau SOC (Schils et al., 2008) lleol ond hefyd lleihau allyriadau GHG net o ganlyniad i'r cyd-fuddion yma. Er ei bod yn aneglur faint o N a sefydlogwyd gan godlysiâu ellid ei golli hefyd drwy drwytholchi neu allyriadau N<sub>2</sub>O (Henderson et al., 2015), gallai gostyngiadau ddigwydd yn gymharol â gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu.

Gall defnyddio codlysiâu yn hytrach na gwrtaith N fod yn ymyrraeth ffermio organig. Adolygodd Smith et al. (2011) fuddion posibl ffermio organig ar gyfer atafaeliad SOC yng Nghymru. Daethant i'r casgliad y byddai gan ffermio organig ar laswelltiroedd potensial cyfyngedig ar gyfer cynyddu SOC, ond byddai yna gyd-fuddion yn nhermau gostyngiad mewn allyriadau o gynhyrchiant gwrtaith o ganlyniad i ddibyniaeth ar sefydlogi N biolegol yn hytrach na diwydiannol.

Gall fod yna fuddion maethol hefyd e.e. codlysiâu yn y glaswelltir, er y gallai hynny gael ei ysgogi gan rywogaethau penodol. Mewn glastiroedd amrywiol gall rhywogaethau â gwreiddiau dwfn megis Sicori (*Cichorium intybus*) a Pheli Defaid (*Petroselinum crispum*) ddarparu mwynau i dda byw; mae Sicori, Codog (*Onobrychis vicifolia*) a Physen y Ceirw (*Lotus corniculatus*) hefyd yn gweithredu fel gwrth-helminthig, gan ddarparu rheolaeth ar barasitiaid coluddol.

### 4.5.3 Maint

Mae meta-ddadansoddiad yn adrodd y gall hadu codlysiâu ar laswelltiroedd arwain at gynydd o 0.75 t C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> mewn SOC (Conant et al., 2001).

### 4.5.4 Amserlen

Canfu Steinbeiss et al. (2008) bod cyflymder cronni SOC ar laswelltiroedd newydd gynyddu gydag amrywiaeth planhigion dros gyfnod o 4 blynedd.

### 4.5.5 Materion gofodol

Gall fod yn anoddach sefydlu amrywiaeth eang mewn glastiroedd mewn rhai ardaloedd, ac efallai y bydd angen teilwra cymysgeddau hadau ar gyfer amodau lleol. Yn Lloegr, mae cynlluniau Stiwardiaeth Cefn Gwlad wedi profi deilliannau amrywiaeth glastiroedd, ac yn aml nid yw targedau yn cael eu cyrraedd.

Mae Henderson et al. (2015) yn awgrymu y bydd storio C o ganlyniad i hadu codlysiâu yn fwy nag allyriadau N<sub>2</sub>O ar ddim ond ~10% o diroedd pori. Ond yn y dadansoddiad hwnnw roedd yn ymddangos bod Ffrainc, Prydain Fawr ac Iwerddon yn boeth fannau ar gyfer atafaeliad C drwy hadu codlysiâu.

### 4.5.6 Dadleoli

Mae'n aneglur a fyddai effeithiau dadleoli yn digwydd yn achos rheoli glastiroedd.

### 4.5.7 Hirhoedledd

Efallai y bydd angen ail hadu yn gymharol reolaidd er mwyn ailsefydlu'r glastir a ddymunir, oni bai fod y dull rheoli yn cael ei newid i fod yn system glaswelltir dwys iawn. Mae troi tir ac ail hadu yn gwrthwneud cynnydd mewn SOC (Schils et al., 2005). Mae'n aneglur am ba hyd y byddai cynnydd mewn SOC yn parhau ar ôl rhoi'r

gorau i reoli glastir. Mae'n debyg y byddai hynny yn dibynnu ar ba fath o ddull rheoli fyddai'n cael ei gyflwyno yn ei le.

#### 4.5.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Mae'n debyg bod angen teilwra cymysgedd o hadau ar gyfer amodau hinsoddol lleol.

#### 4.5.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Efallai bod yna beth awydd ymysg ffermwyr i ddefnyddio mentrau ar gyfer cynyddu amrywiaeth glastiroedd neu i gyflwyno gwahanol rywogaethau porthiant. Mae ymarferion o'r fath yn cael eu defnyddio'n annibynnol ar rai porfeydd yng Nghymru (Cyswllt Ffermio 2019, *cyfathrebiad personol*). Mae tacsia planhigion dibynadwy yn cynnwys *Trifolium*, *Plantago*, *Cichorium* ac mewn ardaloedd ucheldir, *Phleum*. Mae'n debygol bod y seilwaith ar gyfer rheoli glastiroedd wedi'u gwella yn bodoli ar nifer o ffermydd.

### 4.6 Atal Troi Tir a Newid i fod yn Dyndir

#### 4.6.1 Achosiaeth

**GLAS:** Mae'r gronfa dystiolaeth ar gyfer colli SOC ar ôl newid i fod yn dir â'r wedi ei hen sefydlu. Mae buddion llai o droi tir neu ddim troi tir o gwbl ar laswelltiroedd Cymru yn llai dealedig. Mae'n debygol iawn y bydd atal newid i dir â'r yn gwarchod SOC, gyda chyfnewidiadau posibl â chynhyrchiant. Yr anhawster yw penderfynu os a ble y bydd newid i dir â'r yn digwydd.

Bydd newid glaswelltir parhaus i fod yn wndwn â'r yn tueddu i leihau SOC (Fullen a Booth, 2006). Mae astudiaeth fodelu yn awgrymu bod aredig glaswelltir yn gysylltiedig â cholli carbon, ac mae'n argymhell adfer glaswelltir yn llai aml er mwyn lleihau allyriadau CO<sub>2</sub> (Vellinga et al., 2004). Amlygodd prosiect CLIMSOIL bolisiâu sydd yn annog cynyddau sydd o bosibl yn niweidiol iawn i C pridd, oherwydd gallent annog torri glaswelltir yn dyndir (Schils et al., 2008).

Er bod llawer o laswelltiroedd Cymru yn cael eu haredig a'u hail hadu yn rheolaidd, mae astudiaethau o ddulliau rheoli sydd yn golygu ychydig iawn o droi tir neu ddim o gwbl yn tueddu i ffafrio systemau â'r.

#### 4.6.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Mae troi glaswelltir yn cael ei wneud ar laswelltir parhaol er mwyn ailsefydlu glastir a ddymunir neu gynyddu cynhyrchiant. Hefyd, bydd troi i dir â'r yn tueddu i ddigwydd pan fo ffermwyr yn disgwyl cynnydd mewn proffidioldeb drwy gylchu cynyddau. Oherwydd hynny, gallai atal troi tir fod yn gostus o ran cynhyrchiant amaethyddol.

Mae cyd-fuddion troi tir yn cynnwys gwaddod ffo a cholli P (Haygarth a Jarvis, 1999).

#### 4.6.3 Maint

Daeth yr effaith negyddol gryfaf ar SOC a adroddwyd gan Guo & Gifford (2002) o droi porfa yn gnyddau. Mae Freibauer et al. (2004) yn adrodd am newid o tua -1.0 to -1.7 t C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>. Mae astudiaeth arall yn dangos y gall troi glaswelltir parhaol i gnyddau blynyddol arwain at ostyngiad o -0.96 t C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> mewn SOC dros gyfnod o 20 mlynedd.

#### 4.6.4 Amserlen

Canfu Soussana et al. (2004) bod dirywiad mewn SOC yn digwydd am ~20 o flynyddoedd ar ôl troi i fod yn dyndir, a bod hynny ar ei waethaf yn ystod y blynyddoedd yn syth ar ôl aredig.

#### 4.6.5 Materion gofodol

Mae swm y C a gollir yn debygol o amrywio yn ddibynnol ar stoc gychwynnol C. Er enghraifft, efallai y disgwylir i aredig neu droi glaswelltir ar briddoedd organig iawn arwain at ostyngiadau SOC llawer mwy o'i gymharu ag aredig priddoedd mwynol.

#### 4.6.6 Dadleoli

Gallai atal dwysau glaswelltiroedd neu droi i fod yn dyndir ostwng cynhyrchiant bwyd gyda photensial o achosi effeithiau dadleoli.

#### 4.6.7 Hirhoedledd

Canfu Soussana et al. (2004) bod gostyngiadau mewn SOC yn digwydd am dros ~20 o flynyddoedd ar ôl troi i fod yn dyndir. Gall gymryd mwy o amser i C Gronni ar ôl creu glaswelltir ar dyndir (Powlson et al., 2012).

#### 4.6.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Mae'n aneglur sut y bydd effeithiau aredig ar laswelltir yn rhyngweithio â'r hinsawdd.

#### 4.6.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Mae aredig yn digwydd ar nifer o laswelltiroedd yng Nghymru - gall caeau glaswelltir parhaol gael eu haredig a'u hail hadu bob tua 10 mlynedd (Cyswllt Ffermio, cyfathrebiad personol). Gall newid i amaethu gydag ychydig iawn o droi tir fod yn ddichonadwy i rai ffermwyr Cymru, ond gallai rheoli dim troi tir ostwng proffidioldeb os na ellir rheoli glastir yn effeithiol ac na ellir rheoli chwyn.

Gall newid i dir â'r fod yn annhebygol oherwydd argaeledd tir addas yng Nghymru - mae Freibauer et al. (2004) yn adrodd am ddim newid mewn maint tir â'r ar draws Ewrop ers 1992, er enghraifft. Ond mae ystadegau arolwg Mehefin Amaeth Cymru yn dangos bod arwynebedd tyndir Cymru wedi gostwng yn gyson rhwng 1945 a 2007 (o 359,000 i 64,000 ha), ond ei fod ers hynny wedi cynyddu ychydig i 94,000 ha yn 2018 (<https://statswales.gov.wales/Catalogue/Agriculture/Agricultural-Survey>). Mae'n debygol bod uchafswm maint tyndir ar ôl yr Ail Ryfel Byd yn cynnwys ardal fawr o dir a arferai fod yn anaddas.

### 4.7 Coedwigo, Gwrychoedd, Agrogoedwigaeth ac Adfer Cynefinoedd

#### 4.7.1 Achosiaeth

**AMBR:** Mae tystiolaeth ynghylch effeithiau coedwigo ac agrogoedwigaeth ar borfeydd ar SOC yn gymysg yn y pen draw. Ond, o ystyried yr effeithiau posibl ar fioamrywiaeth a storio carbon uwch ben y ddaear, mae rhai ymyriadau o'r fath yn haeddu cael eu hystyried o ddifri.

Mae gwaith blaenorol yn adrodd am effeithiau cymysg coedwigo glaswelltir mewn perthynas â SOC (Soussana et al., 2004). Hefyd, mae Guo & Gifford (2002) yn adrodd am effeithiau negyddol troi porfeydd yn blanhigfeydd coedwigoedd neu goedwigoedd eilaidd, er nad oedd yr effaith yn arwyddocaol yn achos coedwigoedd eilaidd. Yn nodedig, canfuwyd bod troi coedwig yn borfa yn cynyddu SOC. Yn unol â hynny, mae Wiesmeier et al. (2019) yn awgrymu bod "storio SOC yn cynyddu yn y drefn tyndir < coedwig < glaswelltir", gan nodi rhai eithriadau rhwng coedwigoedd a glaswelltir. Er enghraifft, amlygodd astudiaeth o newid defnydd tir o amaethyddol (porfeydd a thir pori bar yn bennaf) i Goedwigaeth Cylchdro Byr (SRF) gan ddefnyddio safleoedd cron ddilyniant ar draws Prydain Fawr yr amrywiaeth mawr yn y cyfraddau a amcangyfrifir ar gyfer newid mewn C pridd (cadarnhaol i negyddol). Roedd planhigfeydd conwydd yn tueddu i gynyddu C pridd mewn dyfnder o 0-30cm, yn ogystal â chynyddu màs yr haen torllwyth (Keith et al., 2015). Dangosodd astudiaeth arall o'r un prosiect ostyngiadau cyson mewn stociau C pridd wrth newid defnydd tir o laswelltir i blanhigfeydd helyg Coedlannau Cylchdro Byr (SRC) (Rowe et al., 2016).

Mae meta-ddadansoddiad sydd yn edrych ar broffil a chyfansoddiad yn awgrymu y bydd coedwigo glaswelltir yn gyffredinol yn rhyddhau C wedi ei agregu o isbridd (30-80cm), ond maes o law (48 mlynedd) bydd gan y system (yn cynnwys llawr coedwig) enillion net o gynnydd mewn POM (Poeplau et al., 2013, 2011). Os ystyrir pridd mwynol yn unig, mae'n cymryd mwy o amser i ad-dalu'r ddyled carbon (yn agosach at 150 o flynyddoedd), ac mae hynny yn dangos ei bod yn cymryd amser maith i gyfran fechan o'r POM gael ei ymgorffori. Cyfradd newid a amcangyfrifwyd ar gyfer effeithiau mewn perthynas â dyfnder: o laswelltir i goedwig - roedd colli C pridd yn gyflymach gyda chynnydd mewn dyfnder (pan dynnwyd llawr coedwig ar gyfer samplu).

O ran agrogoedwigaeth ar laswelltiroedd, mae ymchwil yng Nghanaada wedi dangos bod stociau SOC hyd at 30cm yn sylweddol uwch yn yr ardaloedd coedwigoedd nag yn y tiroedd llysiâu ffiniol (Baah-Acheamfour et al., 2015).

Ychydig iawn o dystiolaeth a gasglwyd ynghylch effeithiau gwrychoedd ar SOC, ond dangosodd un astudiaeth diweddar yn nalgylch Conwy effeithiau cadarnhaol cynnil gwrychoedd ar stociau SOC (Ford et al., 2019).

#### 4.7.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Y cyd-fuddiant mwyaf tebygol fyddai cynnydd mewn carbon uwch ben y ddaear. Dangosodd Keith et al. (2015) bod stociau C uwch ben y ddaear mewn coed mewn rhai planhigfeydd SRF yn hafal â stociau C uwchbridd (0-30cm); roedd cyfraddau'r newid mewn C uwch ben y ddaear ar ei fwyaf yn achos Sitca ac Ewcalyptws. Yn ddibynnol ar y math o goetir a adferwyd, gall fod yna gyd-fuddion eraill megis hamdden a chynhyrchu coed.

Mae yna dystiolaeth bod gwrychoedd yn y tirlun Prydeinig yn darparu gwasanaethau rheoleiddio drwy wella ansawdd dŵr, lleihau risg llifogydd, lleihau'r pridd a gollir drwy ddŵr ac erydiad gwynt, gwella peillio cnydau drwy ddarparu cynefin i beillyddion a lliniaru newid yn yr hinsawdd drwy storio a chronni carbon uwch ben ac o dan y ddaear (Wolton et al., 2014)

Gall agrogoedwigaeth silfoborfaol a silfo-âr yn y DU ddarparu lloches a chysgod i dda byw a chnydau, gwella cylchu maethynnau, gwella ansawdd aer drwy ddal llygryddion, darparu cynefin i beillyddion a bywyd gwyllt arall a gwella'r broses o

gadw dŵr (Jose, 2009; Smith, 2010). Mae yna hefyd botensial i agrogoedwigaeth sifborfaol weithredu fel lleiniau byffer torlannol. Mae lleiniau byffer torlannol yn rhyngweithio ag amgylcheddau daearol a dyfrol, ac yn aml maent wedi eu nodweddu gan gynhyrchiant sylfaenol uchel a bioamrywiaeth planhigion ac anifeiliaid. Maent yn darparu buddion ar gyfer ansawdd dŵr i lawr yr afon h.y. drwy ddefnyddio a chymhathu maethynnau o ddŵr tir a dŵr wyneb, hyrwyddo sefydlogrwydd glannau ffrydiau a rheoli erydiad, porthiant a chynefin ar gyfer bywyd gwyllt a lle i storio dŵr llifogydd sydd yn arwain at well amddiffynfa llifogydd i lawr yr afon (Naiman a Décamps, 1997; Sabater et al., 2003; Wharton a Gilvear, 2007).

Mewn perthynas â lleihau dŵr ffo, cymharodd Chandler et al. (2018) ddargludedd hydrolog pridd dirlawn rhwng coetir fferm heb ei bori o dan rywogaethau coed cyferbyniol (Ffynidwydd a masarnen), silfborfa a phorfa ucheldir; dangosodd yr astudiaeth hon mai gan y coetir fferm gonwydd oedd y dargludedd hydrolog dirlawn mwyaf, ond bod pori hefyd yn negyddu effeithiau coed ar reoli dŵr.

Mae cyfnewidiadau nodedig ar ôl adfer cynefin a choedwigo yn cynnwys gostyngiadau mewn cynhyrchiant amaethyddol a 'chloi' tir mewn coedwigaeth am ddegawdau. Hefyd, os sefydlir planhigfeydd conwydd mawr, mae rhai yn ystyried bod hynny yn effeithio'n negyddol ar y tirlun a'r gymuned (Cyswllt Ffermio, *cyfathrebiad personol*).

### 4.7.3 Maint

Mae Soussana et al. (2004) yn cynnig cynnydd bychan o  $0.1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  mewn C ar ôl coedwigo glaswelltir, gyda lefel uchel o ansicrwydd.

Canfu meta-ddadansoddiad bod newid o borfa/glaswelltir i agrogoedwigaeth yn arwain at gynnydd o 9-10% mewn stociau SOC (De Stefano a Jacobson, 2018).

### 4.7.4 Amserlen

Mae amserlenni effeithiau coedwigo ar SOC yn aneglur.

### 4.7.5 Materion gofodol

Mae Soussana et al. (2004) yn amlygu effeithiau SOC cadarnhaol coedwigo ar briddoedd clai a chalchaid mewn hinsawdd fynyddig, ond effeithiau negyddol mewn hinsoddau cynhesach ar briddoedd tywodlyd neu asidig. Canfu Poeplau et al. (2011) bod priddoedd â mwy o glai ynddynt yn colli SOC yn arafach wrth newid o fod yn wair i goedwig.

Yn achos coedwigo, mae math o goedwig a rheolaeth yn bwysig hefyd, er enghraifft canfu Guo a Gifford (2002) ostyngiadau yn achos planhigfeydd conwydd mewn ardaloedd gwlyb, ond dim newid yn achos coetir llydanddail. Canfu Pérez-Cruzado et al. (2012) golledion uwchbridd yn ystod y 10 mlynedd gyntaf ar ôl coedwigo, sydd yn ddibynnol ar rywogaethau coed (cymharwyd 2 rywogaeth ewcalyptws). Mewn planhigfeydd ungnwd ac arbrofion 'gerddi cyffredin', dangoswyd effeithiau amlwg rhywogaethau coed ar SOC a rhinweddau pridd eraill (Reich et al., 2005; Vesterdal et al., 2012).

### 4.7.6 Dadleoli

Gallai gostyngiad mewn cynhyrchiant amaethyddol yn lleol gyfrannu at ddwysau yn rhywle arall, er enghraifft o ganlyniad i effaith ar brisiau nwyddau amaethyddol.

#### 4.7.7 Hirhoedledd

Mae'n debyg y bydd coedwigo yn rhywbeth parhaol oherwydd anawsterau mecanyddol dadwneud y broses yma, a gwarchodaeth gyfreithiol i goetiroedd.

#### 4.7.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Gall hinsawdd leol effeithio ar y math o goedwigoedd sydd yn addas i'w hadfer. Roedd tymheredd uwch yn cynyddu'r gyfradd o golli SOC ar gyfer y newid yma mewn meta-ddadansoddiad (Poeplau et al., 2011).

#### 4.7.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Gall planhigfeydd conwydd effeithio'n negyddol ar gymunedau ffermio. Mae'n annhebygol y bydd ffermwyr eisiau coedwigo ardaloedd eang o dir oherwydd natur barhaol y penderfyniad yma. Ond, gallai ardaloedd llai o dir fyddai'n darparu sglodion coed a/neu loches fod o ddiddordeb - yn ddiweddar mae prisiau sglodion coed wedi codi'n sylweddol mewn perthynas â llosgwyr biomas. Hefyd gallai ffermwyr fod yn agored i greu gwrychoedd, er nad yw effeithiau gwrychoedd ar SOC wedi cael eu mesur yn dda (Cyswllt Ffermio, *cyfathrebiad personol*).

## 5 Ymyriadau ar Dir Âr

Yn yr adolygiad yma mae tir âr neu dyndir y cynnwys yr holl dir sydd mewn cylchdro cnydau nad ydynt yn cael eu rheoli'n barhaol fel glaswelltir. Yn fyd-eang, efallai bod gan ddulliau rheoli tyndir fwy o botensial lliniaru GHG bioffisegol na rheoli tir pori neu adfer priddoedd organig sydd wedi eu trin (Smith et al., 2008b). Ond, yng Nghymru mae tyndir yn lleiafrif amlwg - mae 75% o'r defnydd tir yng Nghymru yn borfeydd glaswelltir (Armstrong, 2016).

Er y gallai'r math o gnwd effeithio ar SOC mewn priddoedd âr (Moxley et al., 2014), nid oedd digon o dystiolaeth i gynrychioli ymyrraeth yn yr adolygiad yma. Yn yr un modd, gallai rhyng-gnydu cnydau maes wella storio C pridd o'i gymharu â chnydau unigol, ond ni ymchwelwyd yn helaeth i hynny (Whitmore et al., 2015). Hefyd mae'n bosibl bod dyrhau a rheoli dŵr o fydd i reoli SOC, ond mae'r effeithiau yma yn gymysg a phrin yr adroddir ar hynny (Smith et al., 2008b).

### 5.1 Cynnydd mewn Gwrtaith a Weithgynhyrchwyd

#### 5.1.1 Achosiaeth

**PINC:** Mae yna dystiolaeth o du allan i Gymru sydd yn cefnogi cynnydd mewn SOC yn dilyn cymhwyso gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu i dyndir. Mae'r dystiolaeth o Gymru yn brin. Hefyd mae yna effeithiau difrifol, yn benodol llygredd nitrogen a chynnydd mewn allyriadau GHG. Mae agronomeg a thargeddu yn hanfodol er mwyn sicrhau SOC a chynhyrchiant wrth leihau'r effeithiau.

Mae gwrteithio cnydau â N yn cynyddu SOC gydag amser yn ôl nifer o astudiaethau (Snyder et al., 2009). Y mecanwaith sylfaenol ar gyfer hynny yw cynnydd mewn cynhyrchiant biomas yn ôl y sôn. Hefyd, mae SOM yn sefydlogi gyda chymhareb C:N o 10:1, felly gallai mewnbynnau N fod yn gritigol i helpu sefydlogrwydd C (Snyder et al., 2009) Ond canfu adolygiad o Alvarez (2005) bod gwrtaith N ond yn cynyddu SOC pan fo gweddillion cnydau yn cael eu hymgorffori i'r pridd.

#### 5.1.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Gweler ar adolygiad Rheoli Maeth Pridd ar wahân i gael mwy o wybodaeth am y math yma o ymyrraeth. Cyfnewidiad allweddol yw cynnydd mewn allyriadau N<sub>2</sub>O a thrwytholchi nitrogen ar ôl defnyddio gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu (Buckingham et al., 2013), yn ogystal ag allyriadau CO<sub>2</sub> uchel wrth gynhyrchu gwrtaith N (Freibauer et al., 2004).

Mae cyd-fuddion yn cynnwys cynnydd mewn cynhyrchiant pan fo maethynnau yn cyfyngu ar dwf planhigion.

#### 5.1.3 Maint

Roedd amcangyfrifon o'r newid mewn stociau C pridd o ganlyniad i ddefnyddio gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu yn amrywio o 11 i 23 t C ha<sup>-1</sup> mewn adolygiad i hysbysu rhestr LULUCF (Buckingham et al., 2013). Mae Powlson et al. (2012) yn cyflwyno tystiolaeth bod gwrtaith NPK yn cynyddu ychydig ar SOC, ond ddim yn agos i'r cynnydd wrth ddefnyddio tail fferm.



### 5.1.4 Amserlen

Mae effeithiau gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu ar SOC yn fychan, felly mae'n anodd bod yn bendant ynghylch amserlenni'r effeithiau yma.

### 5.1.5 Materion gofodol

Mae effeithiau gwrtaith N ar SOC yn tueddu i fod yn fwy mewn priddoedd â gwead bras ac ar dymheredd isel (Alvarez, 2005). Hefyd, ni fyddai cynnydd mewn SOC yn digwydd os defnyddir mwy o N na sydd ei angen ar gnydau, neu os yw SOC ar ecwilibriwm (Alvarez, 2005). Nododd Buckingham et al. (2013) er y disgwylir i ychwanegu N ysgogi cynnydd mewn SOC mewn ardaloedd mwy tymherus yn hytrach na throfannol, yn gyffredinol mae gan briddoedd â'r y DU fewnbynnau N uchel sydd efallai yn cyfateb eisoes i ofynion cnydau, felly gall y cwmpas ar gyfer ymyrryd fod yn gyfyngedig.

Mae'n amlwg bod targedu gofodol a thymhorol yn gritigol os defnyddir gwrtaith N i storio SOC yn arbennig yng ngoleuni effeithiau aflinol nitrogen gormodol (Snyder et al., 2009). Mewn gwirionedd, roedd gwell agronomeg a rheoli maethynnau yn gyson yn cynyddu potensial lliniaru CO<sub>2</sub> yn adolygiad Smith et al. (2008b).

### 5.1.6 Dadleoli

Gallai rhoi'r gorau i ddefnyddio gwrtaith mewn rhai ardaloedd leihau cynhyrchiant, gan ddadleoli amaeth dwys o bosibl i ardaloedd eraill.

### 5.1.7 Hirhoedledd

Mae'r effeithiau ar SOC yn fychan ac mae'n aneglur a fyddent yn parhau ar ôl rhoi'r gorau i ddefnyddio gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu. Byddai hynny yn dibynnu ar y dull rheoli amgen.

### 5.1.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Mae'n aneglur sut mae effeithiau gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu ar SOC yn rhyngweithio â'r hinsawdd.

### 5.1.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Gall prisiau gwrteithiau wedi'u gweithgynhyrchu newid yn ddibynnol ar brisiau olew.

## 5.2 Mewnbynnau organig

### 5.2.1 Achosiaeth

**GLAS:** Mae yna dystiolaeth dda y gall mewnbynnau organig sydd wedi eu targedu'n ofalus gynyddu SOM ar dyndir. Mae'r buddion ar eu gorau pan fo dibyniaeth ar wrtaith wedi'i weithgynhyrchu yn cael ei leihau, ynghyd ag allyriadau GHG cysylltiedig. Rhaid cymryd gofal er mwyn osgoi gormod o fwynau a thrwytholchi nitrogen. Wrth roi tail ar gaeau cnydau, mae'n rhaid ystyried costau cludiant ac effeithiau dadleoli.

Dangoswyd bod mewnbynnau organig, yn cynnwys tail fferm, compost, biosolidau ac ymgorffori gweddillion cnydau yn creu effeithiau cadarnhaol ar SOC ar dyndir (Powlson et al., 2012; Wuest a Gollany, 2012). Y mecanweithiau ar gyfer hynny yw mewnbynnau C uniongyrchol yn ogystal â chynnydd mewn cynhyrchiant a

mewnbynnau C o ddeunydd planhigion. Ond gallai mewnbynnau organig arwain at effeithiau preimio ar weithgaredd microbaidd, allai arwain at fwyneiddio SOC a dylifiad CO<sub>2</sub> (Buckingham et al., 2013).

Gall prosesu gwrtaith organig gynyddu storio SOC. Mae Chenu et al. (2019) yn amlygu nifer o astudiaethau sydd yn awgrymu mwy o storio SOC hirdymor o gyfansoddion cyfnewidiol sydd yn diraddio'n hawdd nag o ddeunydd ystyfnig sydd yn gyfoethog mewn lignin. Gall hynny fod yn wir oherwydd bod cyfansoddion cyfnewidiol yn cael eu prosesu gyda mwy o effeithlonrwydd defnydd carbon microbaidd, gan gynyddu storio SOC fel necromas microbaidd. Eglurhad arall yw bod cyfansoddion toddadwy yn symud mewn pridd rhwng wynebaw mwynol, ble gellir eu gwarchod. Ond, canfu arbrawf mawr aeth ati i gymharu effeithiau compost, tail, gweddillion treuliad anaerobig a slyri ar wahanol briodoleddau pridd a chnydau ar saith safle yn y DU ganlyniadau cyferbyniol (WRAP, 2015). At ei gilydd, canfu'r arbrawf bod compostau a thail ffermydd yn cynyddu SOC o'i gymharu â gweddillion treuliad anaerobig neu slyri (gyda dogn eithaf tebyg o N). Oherwydd hynny, mae'n dal yn aneglur ai deunydd organig "ffres" neu "wedi ei brosesu" fydd yn arwain at y buddion mwyaf i atafaeliad C, yn arbennig o ystyried allyriadau posibl wrth brosesu deunydd organig.

Mae "bio-ologsg" yn fath arall o ddeunydd organig ellir ei ychwanegu i bridd, sydd yn cynrychioli cynnyrch a geir drwy ddefnyddio triniaeth thermol ar ddeunydd organig dan amodau ocsigen isel. Gall bio-ologsg fod yn sgil-gynnyrch y broses o gynhyrchu biodanwydd hylif. Mae'n fath sefydlog o C ynddo ei hun, ond mae yna dystiolaeth amhendant hefyd y gallai roi sefydlogrwydd i ffracsiynau presennol o ddeunydd organig mewn pridd (Powlson et al., 2011). Mae'r rhan fwyaf o'r gronfa dystiolaeth ar gyfer bio-ologsg yn deillio o du allan i Ewrop.

### 5.2.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Gweler ar adolygiad Rheoli Maeth Pridd ar wahân i gael mwy o wybodaeth am y math yma o ymyrraeth. Gall defnyddio tail a chompost yn hytrach na slyri, gweddillion treuliad anaerobig neu wrtaith wedi'i weithgynhyrchu cynyddu niferoedd pryfed genwair ac argaeledd maethynnau (WRAP, 2015). Hefyd, gyda chynllun rheoli maethynnau integredig, gellid creu arbedion sylweddol mewn perthynas â gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu.

Mae allyriadau N<sub>2</sub>O yn gyfnewidiad posibl o ganlyniad i dail, llaca carthffosiaeth a chompost dinesig, er y gellid lleihau allyriadau o gynhyrchu gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu drwy ddefnyddio gwrtaith organig (Freibauer et al., 2004). Gall gweddillion cnydau gynyddu allyriadau N<sub>2</sub>O drwy osod ffynhonnell N y gellir ei fwyneiddio i'r pridd (Freibauer et al., 2004), yn arbennig pan fo gan weddillion gymhareb C:N isel (Baggs et al., 2000). Hefyd gall trwytholchi nitrogen fod yn broblem wrth ddefnyddio tail (Buckingham et al., 2013), a gall gormod o faethynnau nad ydynt yn N fod yn bresennol (e.e. P).

Nododd Freibauer et al. (2004) y gallai llaca carthffosiaeth, os caiff ei reoli'n wael, arwain at gronni metelau trwm a llygryddion organig yn y pridd. Ar y llaw arall, gallai compost dinesig gynyddu argaeledd mwynau hybrin yn y pridd. Ond mae llaca carthffosiaeth yn cael ei reoleiddio'n dda yn y DU, a chanfu un arbrawf yn y DU "ddim effaith compost neu ychwanegu gweddillion treuliad anaerobig ar gyfanswm crynodiadau llygryddion cyfansawdd metel ac organig neu grynodiadau metel cnydau" (WRAP, 2015).

Ar gyfer bio-ologsg, mae angen asesiad cylch oes lawn er mwyn deall y cyfnewidiadau a'r cyd-fuddion. Mae'n deillio o amrywiaeth o ddeunyddiau ffynonellau organig sydd ag amrywiaeth o ganlyniadau economaidd ac amgylcheddol. Ond, gall bio-ologsg wella'r broses o gadw maethynnau a dŵr mewn pridd, yn ogystal â thyfiant cnydau (Powlson et al., 2011). Gallai hynny leihau'r galw am wrtaith N, fyddai'n arwain at gyd-fuddion yn nhermau lliniaru GHG.

### 5.2.3 Maint

Mae tystiolaeth yn awgrymu bod ychwanegu tail yn achosi mwy o storio C am bob uned N na gwrtaith wedi'i weithgynhyrchu (Buckingham et al., 2013). Hefyd, gall effeithlonrwydd storio C o fiosolidau, yn cynnwys tail, fod yn fwy na'r hyn a geir o weddillion grawn (Powlson et al., 2012; Wuest a Gollany, 2012).

Roedd amcangyfrifon o'r newid mewn stociau C a achoswyd gan ddefnyddio tail ar dyndiroedd yn amrywio o 5 i 18 t C ha<sup>-1</sup> mewn adolygiad i hysbysu rhestr LULUCF (Buckingham et al., 2013).

Adolygodd Powlson et al. (2012) effeithiau SOC gwahanol fewnbynnau biosolidau ar briddoedd âr, a chanfod effeithiau cadarnhaol amrywiol o dail fferm o tua 0.63 t C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> (ar y lefel uchaf y caniateir ei ddefnyddio mewn parthau agored i niwed nitrad yn y DU). Roedd mewnbynnau eraill megis llaca gwrtaith a chompost gwyrdd yn arwain at fwy o effeithiau cadarnhaol.

Casglodd Smith et al. (1997) ddata arbrofol ar SOC o wledydd yr UE a chanfod bod gan ychwanegu tail anifeiliaid, llaca carthffosiaeth neu wair potensial atafaelu C is na dad-ddwysau (newid i ffermio gwndwn âr).

Amlygodd meta-ddadansoddiad diweddar fod cnydau gorchudd yn arwain at gynnydd o ~6% mewn SOC, tra bod defnyddio bio-ologsg yn arwain at gynnydd o ~39% mewn SOC (Bai et al., 2019).

Mae nifer o astudiaethau yn awgrymu bod effeithlonrwydd storio C o weddillion grawn yn tueddu i fod yn is na biosolidau eraill yn cynnwys tail (Powlson et al., 2012; Wuest a Gollany, 2012).

### 5.2.4 Amserlen

Canfu Getahun et al. (2018) bod rhyddhau pridd ac ymgorffori slyri gwair i bridd âr yn arwain at gynnydd o >20g/kg mewn SOC ar ôl blwyddyn yn unig, gydag effeithiau cadarnhaol ar gnydau grawn. Dangosodd Powlson et al. (2012) bod y cynnydd mewn SOC o ganlyniad i fewnbynnau organig ar eu gorau o fewn yr 20 mlynedd gyntaf o'u defnyddio, ac ar ôl hynny roedd yr effaith yn gwano. Canfu un arbrawf yn y DU effeithiau tail fferm a chompost gwyrdd ar ôl 9 ac 20 mlynedd o'u defnyddio yn ôl eu trefn (WRAP, 2015).

### 5.2.5 Materion gofodol

Mae defnyddio tail ar briddoedd âr yn golygu cyfyngiadau sydd yn ymwneud ag argaeledd tail yn yr ardal gyfagos (Powlson et al., 2011).

Mae un astudiaeth yn awgrymu bod mewnbynnau SOC o weddillion grawn neu fiosolidau yn dibynnu ar symiau addas o N, P ac S (Kirkby et al., 2013). Gall swm y maethynnau sydd eu hangen fod yn eithaf rhagweladwy, ac os nad yw eisoes yn bresennol, gellir ei ategu drwy ddefnyddio gwrtaith. Ond, efallai mai'r goblygiadau yn

achos ymgorffori gweddillion grawn fydd gwrteithio sofl, ac ni argymhellir hynny oherwydd trwytholchi nitrad tebygol (Buckingham et al., 2013).

Mae angen i ychwanegu N gael ei dargedu'n ofalus er mwyn lleihau cyfnewidiadau. Mewn gwirionedd, roedd gwell agronomeg a rheoli maethynnau yn gyson yn cynyddu potensial lliniaru CO<sub>2</sub> yn adolygiad Smith et al. (2008b).

### 5.2.6 Dadleoli

Mae'n rhaid i ddefnyddio tail ar dir â'r fod yn gysylltiedig ag allyriadau GHG o gynhyrchu da byw yn rhywle arall (Buckingham et al., 2013). Gallai fod yn gysylltiedig hefyd â chynnydd mewn defnyddio NPK yn rhywle arall.

Amlygodd Powlson et al. (2011) bwysigrwydd ffawd amgen mewnbynnau organig e.e. gwair grawn. Petai'r gwair wedi cael ei losgi, gallai fod yn well ymgorffori'r carbon i'r pridd. Ond, gallai llosgi gwair leihau hylosgi tanwydd ffosil hefyd a helpu i liniaru newid yn yr hinsawdd (Powlson et al., 2008). Llwybr arall yw defnyddio gwair fel gwely i anifeiliaid, ac yn yr achos hwnnw byddai'n cael ei ymgorffori i raddau helaeth mewn SOM yn rhywle arall (Powlson et al., 2011).

### 5.2.7 Hirhoedledd

Mae'n aneglur a fyddai cynnydd mewn SOC yn parhau ar ôl rhoi'r gorau i fewnbynnau organig (Powlson et al., 2012). Mae effeithiau ar SOC yn tueddu i ddirlenwi gydag amser.

### 5.2.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Er bod y rhan fwyaf o'r dystiolaeth am fio-ologs yn dod o du allan i Ewrop, adroddir bod effeithiau SOC cadarnhaol bio-ologs yn fwy mewn ardaloedd claeaf (Bai et al., 2019).

### 5.2.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Mae aiddosbarthu tail i ardaloedd â'r yn arwain at rwystrau difrifol o ran storio a chlodiant.

## 5.3 Llai o Droï Tir a Dim Troï Tir

### 5.3.1 Achosiaeth

**AMBR:** Mae effeithiau llai o droi tir ar SOC yn gymysg, ac maent yn ddrislyd o ganlyniad i effeithiau samplio dyfnder a dwysedd swp. Mae rhai enillion a chyd-fuddiannau SOC yn bosibl, yn arbennig yn gysylltiedig â chnydau gorchudd, ond mae yna risgiau o ran allyriadau N<sub>2</sub>O a cholli cnydau.

Ystyriwyd bod troi pridd yn ysgogi gostyngiad SOC sylweddol ar dir amaethyddol, felly argymhellwyd rheolaeth dim troi tir ar gyfer atafaeliad C (Lal, 2004). Mae aflonyddu ffisegol wrth droi tir yn dadagregu ac yn awyru'r pridd gan gyflymu dadelfennu SOC (Mikha and Rice, 2014), a thybir bod llai o droi tir yn atal hynny.

Craffwyd yn ystod y blynyddoedd diweddar ar effeithiau llai o droi tir a dim troi tir ar SOC. Ar ôl ystyried dwysedd swp a dosbarthiad SOC mewn perthynas â dyfnder, mae'r dystiolaeth ar gyfer cynnydd mewn SOC mewn systemau dim troi tir yn lleihau (Angers ac Eriksen-Hamel, 2008; Baker et al., 2007). Yn benodol, tybir bod lleihau troi tir yn arwain at newidiadau yn nosbarthiad carbon mewn perthynas â dyfnder, a

chynnydd mewn crynodiad C ar wyneb y pridd. Am y rhesymau uchod, casglodd adolygiad i hysbysu rhestr LULUCF nad yw lleihau troi tir yn opsiwn dibynadwy i gynyddu SOC priddoedd yn y DU (Buckingham et al., 2013). Canfu meta-ddadansoddiad diweddar fod effaith troi tir gwarchodol ar SOC yn fach, ond yn gadarnhaol (Bai et al., 2019).

Ond, os yw troi tir yn cynyddu dosbarthiad C mewn perthynas â dyfnder, efallai bod yna effeithiau cadarnhaol yn nhermau llai o ddadelfennu C. Mae gorwelion pridd dyfnach yn tueddu i gynnwys llai o garbon (Jobbagy a Jackson, 2000). Hefyd, efallai bod deunydd organig a ymgorfforir i rannau dyfnach y pridd yn diraddio'n arafach, neu'n cael eu hamsugno'n rhwydd i fân ronynnau mwynau fyddai efallai yn llai dirlawn na'r hyn sydd ar y wyneb (Buckingham et al., 2013). Am y rheswm hwn, ystyriwyd aredig dwfn er mwyn claddu uwchbridd sydd yn gyfoethog mewn SOC fel ymyrraeth storio SOC (er gwaethaf costau ynni), tra bod ailddosbarthu carbon yn fertigol gan bryfed genwair yn denu diddordeb hefyd (Chenu et al., 2019).

Efallai bod effeithiau cadarnhaol rheolaeth dim troi tir ar SOC wedi cael eu goramcanu. Mae rhai ymchwilyr yn honni mai ffactorau eraill heblaw troi tir sydd wedi bod yn allweddol o ran ysgogi gostyngiad mewn C ar dir â - e.e. newid i gnydau blynyddol, cyfnodau o bridd moel a draenio (Baker et al., 2007).

### 5.3.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Mae cyfnewidiadau yn cynnwys risg o gynyddu allyriadau N<sub>2</sub>O mewn priddoedd sydd wedi eu hawyru'n wael, sydd i'w canfod yn aml yng ngogledd orllewin Ewrop, ac mae hynny yn achos pryder oherwydd potensial cynyddol N<sub>2</sub>O mewn perthynas â chynhesu byd-eang (Freibauer et al., 2004; Rochette, 2008); gallai potensial lliniaru llai o droi tir ostwng 50-60% ar ôl ystyried cynnydd mewn allyriadau N<sub>2</sub>O (Freibauer et al., 2004). Awgrymodd model gan Li, et al. (2005) bod GWP allyriadau N<sub>2</sub>O ar ôl lleihau troi tir yn gwrthbwyso buddion cynnydd mewn storio C pridd o 75-310%. Ond, gallai dim troi tir leihau allyriadau N<sub>2</sub>O hefyd o ganlyniad i lai o argaeledd N, drwy warchodaeth mewn agregau neu grynodiadau mewn gweddillion ar yr wyneb. Mae'n bosibl yr effeithir ar newid cyfeiriad allyriadau N<sub>2</sub>O gan: ddefnydd tir blaenorol sydd yn gysylltiedig â chrynodiad a swm C ac N, a math o fewnbynnau gwraith (Hellebrand et al., 2008; Novoa a Tejada, 2006), math y pridd (Rochette, 2008), lleithder (Regina and Alakukku, 2010), lleithder pridd, hinsawdd, nodweddion ffisegol pridd a thopograffi (Li et al., 2005).

Hefyd efallai bydd angen defnyddio mwy o chwynladdwr mewn achos o leihau troi tir, a gall hynny fod yn gostus ac arwain at ganlyniadau amgylcheddol negyddol (Buckingham et al., 2013). Hefyd, mae methiant cnydau a llai o gnydau mewn systemau lleihau troi tir yn bosibl (Freibauer et al., 2004).

Mae cyd-fuddion lleihau troi tir yn cynnwys llai o gostau ac allyriadau GHG sydd yn gysylltiedig â defnyddio tanwydd (Buckingham et al., 2013). Mae Buckingham et al. (2013) yn adrodd am effeithiau amrywiol rheolaeth dim troi tir ar gynhyrchiant cnydau, ond gall fod yna effeithiau cadarnhaol ar leithder pridd (Freibauer et al., 2004). Mae yna hefyd effeithiau cadarnhaol o ganlyniad i leihau troi tir ar fiota pridd, yn arbennig pryfed genwair a ffwng, a chyd-fuddion cysylltiedig ar gyfer strwythur a ffwythiant pridd (Spurgeon et al., 2013). Gallai atal troi tir hefyd leihau gwaddod ffo a cholli P (Haygarth a Jarvis, 1999). Mae yna fuddion posibl o ganlyniad i leihau troi tir ar gyfer agregu pridd a gwell ymdreiddiad.

Yn aml mae troi tir cadwraethol yn gysylltiedig â chnydau gorchudd (Chenu et al., 2019), a dangoswyd bod hynny hefyd yn cynyddu SOC (Bai et al., 2019).

### 5.3.3 Maint

Awgrymodd adolygiad i hysbysu rhestrau LULUCF newid o  $-2.2$  i  $8.1$  t C ha<sup>-1</sup> wrth newid i lai o droi tir (Buckingham et al., 2013). Awgrymodd adolygiad diweddar yn y DU gynnydd o  $-0.23$ - $1.37$  t C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, ond roedd yr astudiaethau ond yn ystyried sampl o bridd hyd at ddyfnder o 30cm, gan dybio dwysedd swp cyson (Powlson et al., 2012). Adroddodd Freibauer et al. (2004) ystod o  $0.3$ - $0.4$  t C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> ar gyfer ymyriadau dim neu leihau troi tir yn Ewrop.

### 5.3.4 Amserlen

Adroddodd Powlson et al. (2012) effeithiau cymysg i gadarnhaol o ganlyniad i ddim troi tir ar SOC (hyd at ddyfnder o 30cm) o fewn 5-23 o flynyddoedd.

### 5.3.5 Materion gofodol

Mae cyfnewidiadau yn cynnwys cynnydd mewn allyriadau N<sub>2</sub>O mewn priddoedd ag awyriad gwael a ganfyddir yn aml yng ngogledd orllewin Ewrop (Rochette, 2008).

Mae Snyder et al. (2009) yn awgrymu y gall cynnydd mewn SOC ond digwydd os gellir cynnal neu gynyddu cynhyrchiant cnydau. Mae effeithiau troi tir cadwraethol hefyd yn ddibynnol ar y math o bridd a thymheredd (Luo et al., 2010).

### 5.3.6 Dadleoli

Os yw llai o droi tir yn cyfateb i lai o gnydau, gellid dadlau bod angen mwy o ffermio dwys yn rhywle arall er mwyn bodloni'r galw am fwyd.

### 5.3.7 Hirhoedledd

Gallai dychwelyd i droi tir yn llawn ddadwneud unrhyw effeithiau SOC cadarnhaol o ganlyniad i leihau troi tir.

### 5.3.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Amlygodd meta-ddadansoddiad diweddar fod troi tir cadwraethol yn arwain at gynnydd o ~5% mewn SOC, a bod effeithiau mwy cadarnhaol o ganlyniad i reoli dim troi tir mewn ardaloedd a nodweddir gan hinsoddau cynnes (Bai et al., 2019). Mae cyfnewidiadau yn cynnwys cynnydd mewn allyriadau N<sub>2</sub>O mewn priddoedd ag awyriad gwael a ganfyddir yn aml yng ngogledd orllewin Ewrop (Rochette, 2008).

## 5.4 Cnydau gorchudd

### 5.4.1 Achosiaeth

**GLAS:** Mae'n debygol y bydd cnydau gorchudd yn atal colli SOC drwy erydiad, a gallent gynyddu SOC drwy adenillon waddod. Mae yna risgiau mewn perthynas ag allyriadau N<sub>2</sub>O, ond gostyngiadau posibl o ran trwytholchi maethynnau a chynnydd mewn cynhyrchiant.

Gellir defnyddio cnydau gorchudd i gael gwared â thir moel, gan gynyddu SOC o bosibl drwy naill ai gynyddu cynhyrchiant (yn arbennig os rhoddir gwaddod planhigion yn ôl i'r pridd) neu atal erydiad (Buckingham et al., 2013; Desjardins et al.,

2005). Mae pridd moel yn tueddu i golli carbon, yn rhannol o leiaf o ganlyniad i erydiad (er y gall erydiad gynrychioli sinc C sylweddol yn y DU; Quinton et al., 2006). Canfu Bai et al. (2019) bod cynydu gorchudd codlysol yn gysylltiedig â mwy o atafaeliad SOC na chnydau nad ydynt yn godlysol.

### 5.4.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Hefyd gallai llai o bridd moel atal trwytholchi maethynnau o'r pridd. Er enghraifft, roedd cynydu gorchudd yn cynyddu maeth P mewn cynydu (Hallama et al., 2019). Gallai hynny atal llygredd, ond hefyd gynyddu cynydu.

Awgrymodd model gan Lugato, et al. (2018) y gallai allyriadau N<sub>2</sub>O o gnydau gorchudd sefydlogi N fod yn ddigonol dros gyfnod o amser i wrthbwysio effeithiau lliniaru newid yn yr hinsawdd o ganlyniad i atafaeliad SOC.

### 5.4.3 Maint

Canfu meta-ddadansoddiad y gallai cynydu gorchudd arwain at gynnydd o 0.32 t C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> mewn SOC (Poeplau et al., 2018). Amlygodd meta-ddadansoddiad arall bod cynydu gorchudd yn arwain at gynnydd o ~6% mewn SOC (Bai et al., 2019).

### 5.4.4 Amserlen

Nid yw'r amserlenni ar gyfer cynnydd mewn SOC o ganlyniad i gnydau gorchudd yn glir.

### 5.4.5 Materion gofodol

Gall cynydu gorchudd gynyddu maeth P cynydu, a gall fod yn fy effeithiol mewn ardaloedd sydd ag argaeledd P isel (Hallama et al., 2019).

### 5.4.6 Dadleoli

Mae'n aneglur a oes yna unrhyw effeithiau dadleoli o ganlyniad i gnydau gorchudd.

### 5.4.7 Hirhoedledd

Mae'n aneglur am ba hyd y bydd cynnydd mewn SOC o ganlyniad i gnydau gorchudd yn para, yn arbennig os na pharheir â chnydau gorchudd.

### 5.4.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Adroddir bod effeithiau SOC cadarnhaol yn fwy mewn ardaloedd a nodweddir gan hinsoddau cynhesach (Bai et al., 2019).

### 5.4.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Mae cynydu gorchudd yn gost yn syth i'r ffermwr o ran hadau a chostau peiriannau.

## 5.5 Trosi i Laswelltir a Chnydau Lluosflwydd

### 5.5.1 Achosiaeth

**GLAS:** Mae yna dystiolaeth gref bod trosi tir âr yn laswelltir yn cynyddu SOC. Gallai hynny fod o fudd i fioamrywiaeth a lleihau trwytholchi maethynnau, ond

## **gall fod yna gyfnewidiadau â phroffidioldeb. Gall effeithiau dadleoli ddigwydd os trosir glaswelltir mewn mannau eraill yn dir âr.**

Casglodd adroddiad a luniwyd i hysbysu rhestrau LULUCF bod effaith rheoli tyndir ar SOC yn debygol o fod yn fychan o'i gymharu ag e.e. newid defnydd tir (Moxley et al., 2014). Un newid defnydd tir allweddol allai gynyddu SOC yw trosi o dyndir i laswelltir. Gall integreiddio gweiriau i gylchdroi cynydau wella mewnbynau carbon i bridd a lleihau colli carbon o ganlyniad i ddadelfennu, gan arwain at atafaeliad carbon (Conant, 2010). Hefyd gallai cynyddu hyd gylchdroi gwair fod yn effeithiol (Moxley et al., 2014). Gall hyd yn oed creu glaswelltir ar raddfa fach effeithio'n sylweddol ar atafaeliad SOC: gellid atafaelu 0.1 i 2.4% o allyriadau CO<sub>2</sub>-C 1990 y DU drwy ddefnyddio ffiniau gwair ar gaeau âr (Falloon et al., 2010).

Dangosodd Rowe et al. (2016) gynnydd sylweddol mewn stociau C pridd ar ôl newid defnydd tir o dir âr i goedlannau helyg SRC lluosflwydd.

### **5.5.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau**

Mae Freibauer et al. (2004) yn amlygu y gallai cynyddu hyd wndwn leihau erydiad a thrwytholchi maethynnau. Hefyd, gallai neilltuo arwain at fuddion bioamrywiaeth yn achos rhai planhigion a thacsa infertebratau (Alanen et al., 2011). Disgwylir y bydd trosi o dir âr i laswelltir yn fuddiol i bryfed genwair (Spurgeon et al., 2013). Ond, mae Freibauer et al. (2004) yn nodi hefyd y gall neilltuo achosi problemau gyda chwyn yn y dyfodol, a bod newid i gnydau lluosflwydd yn golygu llai o le i ymateb i newidiadau byr dymor yn y farchnad.

### **5.5.3 Maint**

Dangosodd tystiolaeth o Rothamsted mewn perthynas â throsi o dir âr i laswelltir gynnydd o 20 t C ha<sup>-1</sup> mewn SOC dros ~50 mlynedd (Johnston et al., 2009).

Mae Freibauer et al. (2004) yn adrodd y gallai ailblannu parhaol ar dir âr e.e. cyflwyno elfennau lluosflwydd, coedlannau cylchdro byr neu weiriau lluosflwydd arwain at gynnydd o 0.5–1.9 t C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> mewn SOC. Maent yn dangos y byddai trosi o dir âr i laswelltir yn arwain at gynnydd o 1.4 t C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> mewn SOC.

Mae meta-ddadansoddiad yn adrodd y gall trosi tyndiroedd i laswelltiroedd arwain at gynnydd o 1.01 t C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> mewn SOC (Conant et al., 2001). Roedd potensial lliniaru CO<sub>2</sub> o ganlyniad i neilltuo a newid defnydd tir ymysg yr uchaf yr adroddwyd amdano gan Smith et al. (2008b) yn achos tyndiroedd mewn ardaloedd claeur a llaith fel Cymru.

Casglodd Smith et al. (1997) ddata arbrofol ar SOC o wledydd yr UE a chanfod y gallai dad-ddwysau (ffermio gwndwn-âr) neu goedwigo tir âr atafaelu mwy o C nag ychwanegu tail anifeiliaid, llaca carthffosiaeth neu wair.

Gellid atafaelu 0.1 i 2.4% o allyriadau CO<sub>2</sub>-C 1990 y DU drwy ddefnyddio ffiniau gwair ar gaeau âr (Falloon et al., 2010).

Canfu Poeplau et al. (2015) y gellid priodoli cynnydd o 7.7% mewn SOC uwchbridd (0-20cm) yn Sweden yn bennaf i gynnydd mewn gwndwn gwair fel cyfran o gyfanswm.

### **5.5.4 Amserlen**

Gall trosi i wndwn gwair gynyddu SOC o fewn pum mlynedd (Fullen a Booth, 2006).



### 5.5.5 Materion gofodol

Mae Powlson et al. (2011) yn awgrymu y gall potensial cronni C fod ar ei fwyaf mewn ardaloedd sydd â stoc C isel presennol; e.e. canfu Rowe et al. (2016) y cynnydd mwyaf mewn stociau C pridd ar ôl trosi i goedlan helyg cylchdro byr mewn safleoedd oedd â'r stoc isaf o C pridd â'r.

### 5.5.6 Dadleoli

Er y gellid storio llawer o C mewn priddoedd drwy drosi tir â'r er mwyn ei neilltuo neu ar gyfer cynydau lluosflwydd, gall fod yna gyfnewidiadau sylweddol â chynhyrchiant bwyd (Moxley et al., 2014). Oherwydd hynny, gall bwyd gael ei gynhyrchu yn rhywel arall gydag allyriadau sydd yn gwrthbwysu cynnydd lleol mewn SOC.

### 5.5.7 Hirhoedledd

Mae newid defnydd tir ar y cychwyn o dyndir i laswelltir yn cynyddu stociau SOC, ond maes o law disgwylir y bydd enillion a cholledion C yn gytbwys (Buckingham et al., 2013); mae glaswelltiroedd hŷn yn debygol o atafaelu llai o C. Ond, mae ffraciwn o SOM sydd yn cronni ar ôl trosi yn sefydlogi, a disgwylir iddo gael hanner oes o ddegawdau i ganrifoedd (Powlson et al., 2011).

Hefyd gall cynnwys gwair 3 blynedd neu wndwn gwair-meillion mewn cylchdro â'r 5 mlynedd arwain at effeithiau cadarnhaol sydd yn dirlenwi ar ôl ~30 mlynedd (Johnston et al., 2017).

### 5.5.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Mae Smith et al. (2008b) yn adrodd am effeithiau sydd yn gyffredinol yn fwy cadarnhaol am neilltuo a newid defnydd tir mewn hinsoddau llaith o'i gymharu â hinsoddau sych.

### 5.5.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Gall trosi tir â'r i laswelltir parhaol leihau proffidioldeb y tir hwnnw, ac oherwydd hynny gall fod yn anffafriol i ffermwyr.

## 5.6 Coedwigo ac Adfer Cynefinoedd

### 5.6.1 Achosiaeth

**AMBR:** Mae'n amlwg y bydd coedwigo tir â'r yn cynyddu SOC yn ogystal ag C uwch ben y ddaear a bioamrywiaeth. Y broblem yw cyfnewidiad â chynhyrchiant - mae'r ymyrraeth yma yn dangos yr addewid mwyaf drwy goedwigo tir nad yw'n gynhyrchiol neu dir â'r sydd wedi dirywio, neu drwy agrogoedwigaeth.

Arolygodd Smith et al. (2010) briddoedd ar safleoedd a goedwigwyd rhwng 29 a 131 y blynnyddoedd ynghynt, a chanfod bod dyfnder y gorwel organig yn negyddol gysylltiedig â hyd ddefnydd amaethyddol cyn coedwigo, ac yn gadarnhaol gysylltiedig ag amser ers coedwigo. Ond, gallai effeithiau negyddol ddigwydd mewn dyfnder (35-60cm) ar ôl coedwigo tir â'r (Richter et al., 1999). Gallai hynny ddigwydd pan fo trydarthiad cynyddol yn sychu'r pridd, gan gynyddu dadelfennu C.

Mewn perthynas ag agrogoedwigaeth, adroddodd Smith et al. (2008b) am effeithiau cadarnhaol agrogoedwigaeth yn nhermau lliniaru CO<sub>2</sub> mewn ardaloedd clae'r a llaith

megis Cymru. Mae ymchwil yn Ffrainc a Môr y Canoldir wedi datgelu crynodiad o SOC o dan systemau cynyddio aleau, er bod hynny mewn ffracsiynau organig bras allai fod yn eithaf cyfnewidiol (Cardinael et al., 2017, 2015).

### 5.6.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Mae cyd-fuddion adfer cynefinoedd a choedwigo ar dir âr yn cynnwys mwy o C yn cael ei storio uwch ben y ddaear, yn ogystal ag yn y pridd. Byddai cynnydd mewn pryfaid genwair (Spurgeon et al., 2013) a bioamrywiaeth yn ehangach yn ddisgwyliedig (Alison et al., 2017). Ond gall fod yna gyfnewidiadau yn nhermau allyriadau N<sub>2</sub>O yn arbennig o goetir (Powlson et al., 2011). Mae'r effeithiau mewn perthynas â lliniaru llifogydd yn gymysg (gweler yr adolygiad Lliniaru Llifogydd ar wahân).

Mae Freibauer et al. (2004) yn amlygu y gall coedwigo arwain at fuddion o ran tirlun a bioamrywiaeth, gan wella gwerth hamdden/amwynder y tir. Ond, gallai hynny fod yn llai gwir os sefydlir un cnwd masnachol. Hefyd gall coedwigo gynyddu atafaeliad C mewn coed a chynnyrch coed, er y gall fod yna gyfnod byr o gynydd mewn allyriadau yn syth ar ôl plannu coed (Freibauer et al., 2004). Hefyd mae coedwigo yn lleihau hyblygrwydd i ymateb i newidiadau yn y farchnad.

Yn ddibynnol ar y cynydau, gall agrogoedwigaeth silfo-âr gynyddu cyfanswm cynydau a phroffidioldeb. Mae systemau silfo-âr angen llai o fewnbynau nitrogen, oherwydd bod arwynebedd y cynydau yn llai ac oherwydd bod cynnydd mewn torllwyth a systemau gwreiddiau dwys yn sefydlogi nitrogen yn y pridd.

Gall rhai mathau o adferiad gwlypdiroedd ddigwydd mewn ardaloedd iseldir, a darparu cyfleoedd i storio C ynghyd â chynhyrchu deunydd crai ar gyfer diwydiant - er enghraifft, gwlypdir *Typha* sydd hefyd yn cael ei ddefnyddio ar gyfer puro dŵr (Wild et al., 2001).

### 5.6.3 Maint

Dangosodd tystiolaeth o Rothamsted y gall trosi o dir âr i goetir storio 44-64 T C ha<sup>-1</sup> dros 120 mlynedd (Poulton et al., 2003). Mae Freibauer et al. (2004) yn adrodd am gynydd o 0.5 – 1.4 T C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> mewn SOC ar ôl trosi tir âr yn goetir.

Casglodd Smith et al. (1997) ddata arbrofol ar SOC o wledydd yr UE a chanfod y gallai dad-ddwysau (ffermio gwndwn-âr) neu goedwigo tir âr atafaelu mwy o C nag ychwanegu tail anifeiliaid, llaca carthffosiaeth neu wair.

Dangosodd meta-ddadansoddiad diweddar gynydd o 26-40% mewn stoc SOC mewn dyfnderoedd amrywiol ar ôl trosi o amaeth i agrogoedwigaeth (De Stefano a Jacobson, 2018).

### 5.6.4 Amserlen

Canfu Poulton et al. (2003) gynydd mewn stociau SOC ar dir âr a goedwigwyd o fewn 25 mlynedd, a chynyddodd y cynnydd am ~100 mlynedd.

### 5.6.5 Materion gofodol

Mae Powlson et al. (2011) yn awgrymu y gall potensial cronni C fod ar ei fwyaf mewn ardaloedd sydd â stoc C isel presennol. Er y gall fod yna gyfyngiadau o ganlyniad i'r math o bridd neu ffactorau hinsoddol, ar ôl trosi o ddefnydd tir âr, yn gyffredinol disgwyllir cynnydd mewn SOC.

### 5.6.6 Dadleoli

Galla effeithiau negyddol coedwigo ddigwydd os bydd angen dadleoli cynhyrchiant bwyd (Searchinger et al., 2008). Ond, efallai y gellid lleihau effeithiau dadleoli drwy blannu ar dyndir sydd wedi dirywio nad yw'n gynhyrchiol (Powlson et al., 2011).

### 5.6.7 Hirhoedledd

Canfu Poulton et al. (2003) gynnydd mewn stociau SOC ar dir â'r a goedwigwyd o fewn 25 mlynedd, a chynyddodd y cynnydd am ~100 mlynedd.

Mae ffracsiwn o SOM sydd yn cronni ar ôl pontio yn sefydlogi, a disgwylir iddo gael hanner oes o ddegawdau i ganrifoedd (Powlson et al., 2011). Oherwydd anhawster clirio coetiroedd, yn ogystal â gwarchodaeth gyfreithiol, gall coedwigo fod yn eithaf parhaol yng nghyd-destun Cymru a'r DU.

### 5.6.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Efallai nad yw rhai mathau o goetiroedd ond yn addas mewn hinsoddau penodol.

### 5.6.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Oherwydd anhawster clirio coetiroedd a gwarchodaeth gyfreithiol, efallai bydd ffermwyr yn gyndyn o blannu ardaloedd mawr o goetir. Mae rhai yn ystyried bod planigfeydd conwydd yn effeithio yn negyddol ar y tirlun a'r gymuned (Cyswllt Ffermio, *cyfathrebiad personol*).

## 6 Ymyriadau ar gyfer Priddoedd Ucheldir

Y tu hwnt i'r ymyriadau y cyfeirir atynt yma, gall rheoli rhedyn effeithio ar SOC ond dim ond ychydig o astudiaethau sydd wedi cael eu cynnal ynglŷn â hynny. Yn ddiddorol, gostyngodd gorchudd rhedyn yn sylweddol rhwng 1998 a 2007 ar draws Cymru (Smart et al., 2009). Mae Mitchell et al. (1999) yn adrodd nas oes tuedd glir mewn SOC ar ôl rheoli gwahanol fathau o ddilyniant llystyfiant, yn cynnwys *P. aquilinum*, ac mae Marrs et al. (2007) yn adrodd nad oes dim gostyngiad mewn C pridd saith mlynedd ar ôl dechrau rheoli *P. aquilinum* yn Swydd Derby (er y collwyd C uwch ben y ddaear).

Mae saethu er mwyn rheoli porwyr gwyllt yn weithred arall allai greu effaith yn yr ucheldir, oherwydd gallai hynny effeithio ar ddeinameg llystyfiant a SOC. Ond, ni chanfuwyd digon o dystiolaeth i allu adrodd ar hynny.

### 6.1 Atal Draenio ac Adfer Mawndiroedd

**GLAS:** Mae mawndiroedd sydd yn bodoli, hyd yn oed rhai sydd yn cynrychioli sinciau C, yn storio symiau anferthol o garbon y mae angen ei warchod. Hyd yma mae ymdrechion i adfer mawndiroedd wedi arwain at ganlyniadau cymysg, a gall hynny gynyddu allyriadau CH<sub>4</sub>. Ond, mae gan weithgaredd adfer mawndiroedd botensial i ostwng costau trin dŵr.

Mae'n amlwg bod mawndiroedd yn storio symiau anferth o garbon - amcangyfrifir eu bod yn cynnwys rhwng traean a hanner C y byd (Holden, 2005). Ond mae'n llai eglur pa fewndiroedd sydd ar hyn o bryd yn cynrychioli sinciau C. Mae yna lawer o amrywiaeth yn y dystiolaeth, ac mae fflycsau carbon afonol yn ystyriaeth bwysig er bod hynny yn anodd iawn i'w fesur (Worrall et al., 2011a). Gall amrywiad rhyngfflynyddol gyfrannu at yr amrywiaeth yma, oherwydd gall newid o ran hinsawdd a hydroleg newid safle o fod yn ffynhonnell i fod yn sinc, ac fel arall (Clay et al., 2010). Mewn gwirionedd, arweiniodd dwy astudiaeth o Fwsogl Auchencorth yn Ne Yr Alban, a wahanwyd gan 10 mlynedd, ganlyniadau tra gwahanol ynghylch cyllideb C (Billett et al., 2010).

Un dangosydd atafaeliad carbon yw a yw mawndir yn "actif" neu beidio h.y. yn ffurfio mawn, gyda'r llystyfiant a'r amodau angenrheidiol i ffurfio mawn. Mae mawndir yn storio carbon yn bennaf oherwydd bod ensymau sydd yn dadelfennu SOC yn cael eu harafu gan gyfansoddion ffenolig. Hefyd, amharir ar yr ensymau sydd yn dadelfennu'r cyfansoddion ffenolig hynny o dan amodau mawndir nodweddiadol (Whitmore et al., 2015).

#### 6.1.1 Achosiaeth

Y prif bwysau ar fawndir yw draenio, cynaeafu, pori, llosgi a choedwigaeth, er bod mawndir iseldir yn wynebu pwysau hefyd o gyfeiriad ffermio âr.

Mae draenio mawndir yn digwydd yn gysylltiedig ag amaeth, coedwigaeth a chynaeafu mawn (Laine et al., 2009). Hefyd, roedd cymorthdaliadau'r llywodraeth ar ôl yr Ail Ryfel Byd yn annog torri ffosydd draenio mewn mawndiroedd (Holden et al., 2004) Tybir bod draenio yn cyflymu'r broses o bydru torllwyth a mawn drwy gynyddu argaeledd ocsigen. Priodolodd Mitchell et al. (2009) ostyngiadau mewn SOC glaswelltiroedd gwlyb yng Ngwlad Belg o 1960-2006 i ddraenio pridd dwys. Mae meta-ddadansoddiad yn dangos bod draenio yn tueddu i gynyddu anadliad pridd,

gyda chanlyniadau negyddol i atafaeliad C (Worrall et al., 2011a). Hefyd mae'r ffosydd draenio eu hunain yn destun erydiad, ac mae hynny yn arwain at golli carbon organig gronynnol. Er bod y rhan fwyaf o'r astudiaethau yn adrodd am fwy o golledion DOC ar ôl draenio, mae yna eithriadau (Buckingham et al., 2013); mae Worrall et al. (2011a) yn adrodd am effeithiau cymysg draenio ar liw dŵr a chrynodiadau DOC, ac yn cynnig y gallai cynnydd mewn DOC fod o ganlyniad i ysgogydd eang ar wahân.

Mae yna ddau brif dull o adfer mawndir: blocio draeniau er mwyn codi'r lefel trwythiad gan ddefnyddio argae neu lifddor, ac ailsefydlu llystyfiant megis *Sphagnum* (neu hyd yn oed dywyrch gwelltog) ar fawn moel (JNCC 2011). Nid yw effeithiau blocio draeniau ar gyllidebau carbon mawndiroedd wedi ei ddatrys i raddau helaeth, er bod gwaith diweddar wedi mynd ati i ymchwilio i hynny (Buckingham et al., 2013; Evans et al., 2011). Mae effeithiau ar llystyfiant gwlypdir megis *Sphagnum* yn anghyson hefyd (Bellamy et al., 2012). Mae nifer o astudiaethau yn dangos llai o fflycsau DOC o ganlyniad i flocio draeniau (Worrall et al., 2011a). Mae un astudiaeth wedi dadansoddi cyllideb garbon mawndir wedi ei ddraenio, gyda pheth blocio draeniau, yng Ngogledd Lloegr, sydd yn dangos colledion o  $\sim 0.64\text{-}1.07 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ . Ond, cynhaliwyd yr astudiaeth dim ond un flwyddyn ar ôl blocio ac nid oedd safle rheoli priodol ar gyfer cymharu (Rowson et al., 2010; Worrall et al., 2011a).

Gall erydiad mawn moel arwain at golli POC, ac mae ymdrechion i atal hynny yn cynnwys sefydlu mawn (gan ddefnyddio geodecstiliau neu falurion) neu ailblannu (Worrall et al., 2011a). Mae ailblannu yn lleihau fflycsau POC, ond mae'r effeithiau ar gyllideb C yn amrywio, a gallai hynny fod yn gysylltiedig ag e.e. defnyddio calch er mwyn helpu i sefydlu llystyfiant. Gall mawn moel fod yn well ffynhonnell C na mawn wedi ei ailblannu, oedd yn rhannol briodol i golli mwy o POC (Worrall et al., 2011b). Ychydig o wybodaeth sydd ar gael ar effeithiau gwahanol ymarferion ailblannu, neu ar effeithiau adfer mawndiroedd a dorwyd.

### 6.1.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Gall mawndiroedd a adferwyd fod yn sinciau carbon deuocsid, ond hefyd gallent fod yn ffynhonnell methan (Knox et al., 2015). Yn unol â hynny, nid yw mawndiroedd wedi eu draenio yn ffynonellau GHG net bob amser pan fo allyriadau  $\text{CH}_4$  yn ddigon isel (Worrall et al., 2011a).

Gall adfer mawndiroedd effeithio'n gadarnhaol ar ansawdd dŵr, i'r graddau fel bod gan gwmnïau dŵr gymhelliant masnachol eisoes i adfer mawndir er mwyn lleihau costau trin dŵr (Smyth et al., 2015). Mae cyd-fuddion eraill yn cynnwys atal llifogydd a bioamrywiaeth gwlypdir.

### 6.1.3 Maint

Gellir colli  $0.4\text{-}19 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  wrth drosi gwlypdiroedd yn dir amaethyddol mewn ardaloedd boreal a thymherus y tu allan i Ewrop; yn Ewrop gellid atal colledion o hyd at  $4.6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  drwy warchod mawndir (Freibauer et al., 2004). Hefyd, gellid cronni  $0.1\text{-}1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  drwy adfer gwlypdir (Freibauer et al., 2004).

Mae nifer o astudiaethau mawndir yn canolbwyntio ar gyllidebau C/GHG ac a yw safleoedd yn ffynhonnell/sinc C yn hytrach na dim ond SOC yn unig. Mae hynny'n rhannol oherwydd anhawster samplo a mesur mawn o ddyfnder (Buckingham et al., 2013).

Canfu astudiaeth o Fwsogl Auchencroth yn Ne Yr Alban bod y mawndir yma yn sinc C net o tua  $0.7 \text{ t C ha}^{-1}\text{y}^{-1}$  (Dinsmore et al., 2010), tra canfu astudiaeth ar blotiau Hard Hill yn Moor House bod mawndir a reolir yn ffynhonnell net o tua  $1.6 \text{ t C ha}^{-1}\text{y}^{-1}$  (Clay et al., 2010). Dangosodd y ddwy astudiaeth bod allforio C yn afonol drwy DOC yn anhysbysyn pwysig yn y gyllideb garbon, a gellid dychwelyd llawer ohono i'r atmosffer (Worrall et al., 2011a, 2006).

Gallai adfer priddoedd organig, yn arbennig ailsefydlu lefel trwythiad uchel, liniaru  $3.67\text{-}69.67 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  mewn ardaloedd clae ar a llaith (Smith et al., 2008b), er y byddai hynny yn cael ei wrthbwysu i raddau gan gynydd mewn allyriadau  $\text{CH}_4$ .

### 6.1.4 Amserlen

Hyd yn oed ar ôl chwe blynedd, efallai na fydd blocio draeniau yn adfer lefel trwythiad mawndir yn llawn. Canfu un astudiaeth ar ôl chwe blynedd bod ymddygiad lefel traethiad mawndir ble caewyd draeniau yn y canol rhwng mawndir wedi ei ddraenio a mawndir heb ei ddraenio. (Holden et al., 2011).

Mae Grand-Clement et al. (2015) yn crynhoi ystod o astudiaethau o waith adfer mawndiroedd, gan ganfod llai o allyriadau  $\text{CH}_4$  yn bennaf o fewn 10 mlynedd; cynnydd mewn dyfnder at y lefel trwythiad a llai o ddŵr ffo neu ddŵr ffo wedi ei fyffro o fewn un i dair blynedd a *Sphagnum* a/neu *Eriophorum* yn ailsefydlu'n naturiol o fewn chwe blynedd. Roedd effeithiau ar grynodiadau ac allforio DOC yn gymysg.

### 6.1.5 Materion gofodol

Efallai bod potensial ymarferol adfer mawndir ar gyfer atafaeliad C yn gyfyngedig oherwydd bod tiroedd wedi eu draenio yn darparu bywoliaeth a chynefin i nifer o bobl (Powlson et al., 2011).

### 6.1.6 Dadleoli

Mae'n aneglur a fydd gwarchod mawndir neu ail wlychu yn arwain at effeithiau dadleoli.

### 6.1.7 Hirhoedledd

Yn gyffredinol gellir tynnu blociau draeniau yn ddiweddarach, a gallai hynny ddadwneud unrhyw gynydd mewn SOC.

### 6.1.8 Rhyngweithiadau hinsawdd

Mae crynodiadau DOC mewn nentydd ucheldir yn y DU wedi cynyddu yn ystod y degawdau diweddar, o bosibl o ganlyniad i gwmp dyddodiad asid a thymheredd yn codi (Evans et al., 2005). Mae'n bosibl y bydd nifer cynyddol o fawndiroedd Cymru yn dod yn ffynonellau C dros gyfnod o amser.

### 6.1.9 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Mae ffermwyr ucheldir wedi bod yn eithaf parod i dderbyn cymhellion blocio draeniau yn y gorffennol. Nid yw nifer o ardaloedd ucheldir yn gynhyrchiol iawn, felly gall y rhwystrau economaidd rhag gwneud hynny fod yn fychan.

### 6.1.10 Metrigau a gwirio

Mae'r cod mawndir wedi datblygu metrig carbon ar gyfer mawndir o dan ystod o amodau, gan amcanu at ddarparu mecanwaith i fusnesau noddi adfer mawndir yn uniongyrchol er mwyn creu buddion carbon (Smyth et al., 2015). Yn ddiweddar iawn cynhyrchwyd set o ffactorau allyriadau haen 2 IPCC ar gyfer amrywiaeth o gategoriâu amodau mawndir (Evans et al., 2019a).

## 6.2 Atal Gwella a Lleihau Pori

### 6.2.1 Achosiaeth

**AMBR:** Mae atal gwella yn yr ucheldir yn debygol o atal colledion SOC, ond efallai na fydd lleihau pori yn arwain at adfer SOC yn awtomatig. Mae angen mwy o ymchwil i ddeall ysgogwyr dirywiad SOC yn yr ucheldir, a sut mae brwydro yn eu herbyn.

Dywedir bod cymorthdaliadau y Polisi Amaethyddol Cyffredin Ewropeaidd (CAP) ar gyfer ffermio da byw yn seiliedig ar niferoedd wedi arwain at gynnydd o 30% mewn niferoedd defaid ar gorstir yn y DU rhwng y 1970au a'r 1990au (Worrall et al., 2011a). Gallai dwysau glaswelltir ucheldir effeithio'n gadarnhaol ar SOC, er enghraifft drwy gynyddu archwysiad gwreiddiau (Hamilton III et al., 2008), ond mae barn arbenigol yn nodi y bydd gwella glaswelltir bras ar briddoedd organo-fwynol yn effeithio'n negyddol ar SOC (Buckingham et al., 2013). Mae'n bosibl bod cynnal rheolaeth helaeth yn effeithio'n gadarnhaol ar SOC pan nad yw maethynnau yn gyfyngol. Mae peth tystiolaeth yn awgrymu y byddai llai o bori yn cynyddu SOC yn yr ucheldir. Ar laswelltir *Molinia* yn Yr Alban, mae'n debygol y byddai SOC yn gostwng o dan gyfraddau stocio defaid masnachol, ond yn cynyddu gyda lefel isel o bori gan ddefaid neu ddim pori o gwbl (Smith et al., 2014). Ond, canfu Marrs et al. (2018) nad oedd diweddu pori gan ddefaid ar ei ben ei hun yn gwneud fawr o wahaniaeth i gemeg pridd a biomas llystyfiant yng ngwarchodfa natur Moor House.

Mae pori yn ffactor cyfyngol allweddol yn achos olyniaeth llystyfiant, a gall hynny yn ei dro effeithio ar SOC. Gall gorburi gan dda byw annog graminoïdau i ddominyddu (JNCC 2011). Mae tuedd ehangach ar fawndiroedd y DU o newid o *Calluna* i *Molinia* a *Nardus* wedi cael ei briodoli'n rhannol i or-stocio defaid a cheirw (Pakeman et al., 2003; Worrall et al., 2011a). Mae porwyr hefyd yn cyfrannu drwy sathru a newid statws maethynnau'r pridd (Worrall et al., 2011a). Hefyd gwelwyd dirywiad grug ar rostir yn ehangach ar draws Cymru a Lloegr (Bardgett et al., 1995). Adroddodd un astudiaeth nad oedd olyniaeth llystyfiant yn achosi effaith amlwg ar SOC ar rostir yn Dorset (Mitchell et al., 1997). Ond mae dadansoddiad o GMEP a data Arolwg Cefn Gwlad wedi dangos cysylltiadau cadarnhaol rhwng crynodiadau SOC a gorchudd *Sphagnum* a llwyni Grugaidd (grug yn bennaf) ar hyd ucheldir Cymru (J. Alison, data heb ei gyhoeddi).

Un mecanwaith posibl ar gyfer colli C ar briddoedd ucheldir ar ôl dwysau yw effaith preimio, pan fo mewnbynnau C ffres i system benodol yn hwyluso dadelfennu microbaidd yn achos SOC ystyfnig (Soussana a Lemaire, 2014). Gallai mewnbynnau C ffres ddeillio o dail porwyr sydd wedi eu cyflwyno, neu yn dilyn newid mewn cymunedau planhigion o ganlyniad i ddefnyddio gwrtiaith a chalch. Hefyd, ystyrir bod asidedd yn cyfyngu ar gyfraddau dadelfennu yn yr ucheldir, felly gallai calchu nid yn unig gynyddu cynhyrchiant ond dadelfennu a throsiant C (Buckingham et al., 2013).

Mae Worrall et al. (2011a) yn awgrymu mai'r effeithiau rheolaeth amaethyddol fwyaf difrifol yw'r rhai ar C mawndir a fflycsau GHG, oherwydd bod gan fawndiroedd a blannwyd a mawndir a reolwyd fel glaswelltir wedi'i wella allyriadau anghymesur o uchel. Ond, maent yn nodi bod eu casgliadau yn seiliedig ar ffactorau allyriadau haen 1 o du allan i'r DU (Penman et al., 2003). Mae un adolygiad yn nodi bod pori ar rai mawndiroedd iseldir wedi dod i ben, a bod hynny wedi arwain at ledaeniad llwyni (JNCC 2011).

Mae arbrofion yn Moor House wedi cymharu cyllideb garbon mawndir a borir a mawndir na reolir, ac wedi canfod bod pori yn cynyddu cynhyrchiant sylfaenol ac yn lleihau anadliad (Clay et al., 2010; Ward et al., 2007). Y canlyniad oedd gostyngiad o  $0.36 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  ym maint ffynhonnell C safleoedd a borir. Er hynny, roedd y pori yn yr astudiaeth honno yn ysgafn iawn, ac mae meta-ddadansoddiad Worrall et al. (2011a) yn awgrymu bod rhoi'r gorau i bori, yn hytrach na chyflwyno pori, yn gyffredinol yn arwain at well cyllideb garbon a GHG.

### 6.2.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Un cyd-fuddiant posibl o ganlyniad i roi'r gorau i bori byddai cynnydd mewn C gaiff ei storio mewn biomas uwch ben y ddaear, a chynnydd mewn ystyfnigrwydd SOC a gynhyrchir gan dorllwyth planhigion yn hytrach na phorwyr (Worrall et al., 2011a). Byddai yna gyfnewidiad amlwg yn nhermau cynhyrchiant amaethyddol, er nad yw nifer o ardaloedd ucheldir yn gynhyrchiol iawn.

### 6.2.3 Maint

Mae un adolygiad yn adrodd am newid o  $-0.9 - 1.1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  mewn SOC yn achos dwysau priddoedd organig (Freibauer et al., 2004).

### 6.2.4 Dadleoli

Gallai llai o bori yn yr ucheldir arwain at effeithiau dadleoli a mwy o bori mewn mannau eraill.

### 6.2.5 Rhyngweithiadau hinsawdd

Hefyd gallai gostyngiadau mewn dyddodion sylffwr atmosfferig ddileu cyfyngiadau mewn perthynas â dadelfennu C.

### 6.2.6 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Yn economaidd mae ffermydd ucheldir yn cael anhawster gwneud elw heb gymorthdaliadau. Er bod rhai ffermwyr yn barod i dderbyn cymhelliannau i leihau cyfraddau stoc mewn ardaloedd ucheldir, gall lleihau stoc fod yn groes i ideoleg rhai ffermwyr (Cyswllt Ffermio, *cyfathrebiad personol*). Yn ôl y sôn, gall swmpo defaid ar dir cyffredin fod yn gynyddol anodd wrth i niferoedd defaid ostwng, a gallai hynny arwain at adborth cadarnhaol a chefnu ar rai ardaloedd ucheldir.

## 6.3 Llosgi dan Reolaeth

### 6.3.1 Achosiaeth

**AMBR:** Nid yw tystiolaeth am effeithiau llosgi dan reolaeth ar SOC ar ucheldir Cymru yn ddigonol ar gyfer dod i gasgliad. Bydd effeithiau a adroddir yn amrywio yn ddibynnol ar gyfnod y cylchdro llosgi, y math o bridd, ac unrhyw



## **sychu cysylltiedig yn y pridd. Mae'n aneglur a fyddai neu ble fyddai'r dewis amgen i losgi dan reolaeth yn dân gwyllt, a gallai hynny arwain at golli mwy o SOC.**

Gall llosgi dan reolaeth digwydd wrth reoli grug neu rugieir, er mwyn atal bywyd gwyllt neu yn syml er mwyn clirio llwyni. Mae llosgi ar rostir er mwyn rheoli adar gêm wedi cynyddu ar draws yr Alban, Cymru a Lloegr ers y flwyddyn 2000 (Douglas et al., 2015). Gan edrych yn ôl ymhellach, adroddodd Yallop et al. (2006) am gynnydd ym maint rhai mathau o losgi dan reolaeth rhwng 1970 a 200 ar ucheldir yn Lloegr. Ond, mae maint a thuedd llosgi ar draws Cymru yn benodol yn aneglur. Mae llosgi yn golygu colli carbon i'r atmosffer uwch ben y ddaear, ond mae'r effeithiau ar garbon o dan y ddaear yn dibynnu ar gyd-destun, ac mae'n destun dadl eang. Mae Harper et al. (2018) yn adrodd am effeithiau negyddol yn gyffredinol ar SOC o ganlyniad i losgi dan reolaeth, gan nodi bod maint y dystiolaeth yn y DU yn fychan.

Efallai y bydd newidiadau yn y gymuned llystyfiant yn lliniaru effeithiau llosgi ar SOC. Disgwylir y bydd llosgi yn ffafrio *Calluna* yn hytrach na *Sphagnum* ac *Eriophorum*, yn ddibynnol ar hyd y cylchdro llosgi (Hobbs, 1984). Er enghraifft, mae llosgi mewn perthynas â grugieir yn annog grug yn hytrach na rhywogaethau corsydd blanced eraill (Worrall et al., 2011a). Hefyd, gall llosgi'n hwyr yn y gaeaf annog amlygrwydd graminoidau, yn arbennig *Molinia caerulea* (JNCC, 2011). Oherwydd bod *Sphagnum* yn llystyfiant sydd yn ffurfio mawn, mae hynny yn debygol o effeithio'n negyddol ar Gronni SOC ar gynefinoedd corsydd blanced. Mae'r gostyngiad yma yng nghyfraddau cronni C wedi cael ei ddangos yn amlwg yn yr unig arbrawf llosgi dan reolaeth hirdymor yn y DU, yn Moor House, yn seiliedig ar ddadansoddiad craidd mawn (Garnett et al., 2000; Marrs et al., 2018). Ond mae un astudiaeth yn awgrymu y gall cylchdroi llosgi yn amlach ffafrio *Sphagnum* o'i gymharu â chylchdroi llosgi llai aml (Lee et al., 2013). Mae gwaith gan Grau-Andrés et al. (2019) yn awgrymu peth cydnerthedd *Sphagnum* yn achos tanau llai dwys, tra bod Noble et al. (2019) yn dangos bod tanau dwys yn aml yn arwain at niwed 100% i gelloedd sphagnum.

Hefyd gallai mewid llystyfiant ysgogi colli C drwy allforion DOC. Er enghraifft mae *Calluna* yn gysylltiedig â chrynodiadau DOC o'i gymharu â *Sphagnum* a *Molinia* (Armstrong et al., 2012). Ond mae effeithiau llosgi ar DOC wedi bod yn amrywiol iawn; nid yw'r rhan fwyaf o astudiaethau yn arbrofol eu natur (Evans et al., 2017), ac maent yn gweithredu ar amrywiaeth o wahanol raddfeydd gofodol a thymherus (Worrall et al., 2011a). Hefyd, mae'n anodd deall beth yw'r cyflwr cyson oherwydd bod rheoli llosgi fel arfer yn ffurfio clytwaith mewn safleoedd ar adegau gwahanol o'r cylch llosgi (Worrall et al., 2011a).

Hefyd adroddwyd am effeithiau cadarnhaol rheoli llosgi ar SOC. Mae dwy astudiaeth wedi cymharu cyllideb garbon mawndir a losgwyd a mawndir na reolir, ac wedi canfod bod llosgi yn cynyddu cynhyrchiant sylfaenol ac yn lleihau anadliad (Clay et al., 2010; Ward et al., 2007). Canfu Clay et al. (2010) er bod y mawndiroedd yr ymchwiliwyd iddynt yn ffynonellau C, roedd rheoli llosgi yn arwain at ostyngiad o tua  $0.4 \text{ t C ha}^{-1}\text{y}^{-1}$  mewn perthynas â ffynhonnell C. Ond, mae canlyniadau'r astudiaeth fer dymor yma yn cyferbynnu â dwy astudiaeth graidd o groniadau carbon yn yr un safle arbrofol, a gynhaliwyd cyn (Garnett et al., 2000) ac ar ôl (Marrs et al., 2019), ac mae'r ddwy yn dangos yn amlwg bod llosgi wedi lleihau cyfraddau cronni C hirdymor o'i gymharu â rheolaeth dim llosgi. Mae'n werth nodi bod y mawndiroedd na reolwyd yn yr astudiaethau yma wedi cael eu dominyddu gan *Calluna vulgaris* aeddfed a dirywiedig, nad yw'n llystyfiant ffurfio mawn nodweddiadol (Worrall et al., 2011a).

Defnyddiodd Heinemeyer et al. (2018) broses dyddio gronynnau carbonaidd sfferoidaidd (SCP) er mwyn asesu cronid carbon mewn perthynas ag amledd llosgi, a chanfod cysylltiad cadarnhaol rhwng llosgi a chronni carbon. Ond, amlygwyd problemau ynghylch dyluniad yr astudiaeth, dulliau a dehongliad yn y papur hwnnw, yn cynnwys diffyg safleoedd rheoli a gwallau posibl yn y dulliau dyddio fyddai'n annilysu'r cyfraddau cronni C a amcangyfrifir (Evans et al., 2019b). Ar hyn o bryd mae'n ymddangos bod yr astudiaeth yma yn allanolyn wrth ddangos buddion C ymddangosiadol o losgi dan reolaeth, er bod yna ddiffyg tystiolaeth yn fwy cyffredinol, ac mae hynny yn ei gwneud yn anodd llunio casgliadau pendant mewn perthynas â'r maes yma.

Rhai mecanweithiau cynyddu SOC posibl o dan reoli llosgi byddai cynnydd mewn cynhyrchiant planhigion, neu gynhyrchu carbon pyrogenig sydd â mwy o ymwrthedd i ddadelfennu na biomas gwreiddiol (Harper et al., 2018). Ond, mae'n amlwg bod angen mwy o ymchwil i effeithiau llosgi ar SOC.

### 6.3.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Yn aml dadleuir bod llosgi dan reolaeth yn lleihau risg a dwyster tanau gwyllt, er bod yna ansicrwydd o hyd ynghylch sut mae tanau gwyllt a llosgi dan reolaeth yn rhyngweithio (Davies et al., 2016). Gellir defnyddio mesurau eraill i leihau cronid biomas coediog uwch ben y ddaear, er enghraifft, torri ac yna gadael gwaddod ar y safle i ffurfio tomwellt (Worrall et al., 2011a).

Mae Harper et al. (2018) yn amlygu ystod o dystiolaeth o effeithiau llosgi ar ansawdd dŵr, megis cynnydd mewn DOC a charbon organig gronynnol (POC). Mae hyn yn bwysig o ystyried swm y dŵr ddaw o ddalgylchoedd ble mae llosgi yn digwydd; mae Harper et al. (2018) yn cyfeirio'n benodol at y ffaith bod Parc Cenedlaethol Bannau Brycheiniog yn darparu 90% o'r dŵr yfed i ardal ddinesig ehangach Caerdydd (<https://www.beacons-npa.gov.uk/the-authority/who-we-are/nppmp/>). Mae astudiaeth o effeithiau llosgi ar gemeg dŵr yng Ngogledd Iwerddon wedi cwestiynu effeithiau rheoli llosgi ar grynodiadau DOC. Fodd bynnag, arsylwyd cynnydd mewn nitradau, asidedd a chrynodiadau alwminiwm (Evans et al., 2017).

Mae llosgi hefyd yn bwysig ar gyfer agweddau penodol o fioamrywiaeth, fel yr ymdrinnir â hynny yn yr adran cydnerthedd ecosystemau Adeiladau adolygiad o Dystiolaeth y Cynllun Ffermio Cynaliadwy. Mae'n werth cofio bod llosgi yn cael ei wneud gyda'r amcan o reoli gêm neu wella tir pori. Felly gallai unrhyw ostyngiad mewn amledd llosgi arwain at ostyngiad mewn proffidioldeb neu gynhyrchiant amaethyddol.

Gall tannau effeithio'n negyddol mewn perthynas ag ansawdd aer - arweiniodd tân diweddar ar ucheldir ger Manceinion at effeithiau trychinebus ar ansawdd aer drwy gynhyrchu gronynnau (Longlands a Hunter, 2018).

### 6.3.3 Maint

Canfu Clay et al. (2010) er bod mawndiroedd yr ymchwilir iddynt yn ffynonellau C, bod rheoli llosgi yn lleihau'r ffynhonnell C o tua  $0.4 \text{ t C ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ . Ond, roedd hynny yn groes i ganlyniadau a gofnodwyd nifer o flynyddoedd yn gynharach, ac yn ddiweddarach, o'r un safle (Garnett et al., 2000; Marrs et al., 2019). Arsylwodd Garnett et al. (2000) ostyngiad o 74% yn y gyfradd cronni C o ganlyniad i losgi dan reolaeth, a bod hynny yn arwain at fflycsau CO<sub>2</sub> blynyddol cymedrig o ganlyniad i

losgi dan reolaeth o  $-1.09 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  oi gymharu â  $-3.81 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  heb losgi (Evans et al., 2014).

### 6.3.4 Materion gofodol

Mae'r rhan fwyaf o'r ymchwil a'r trafodaethau ar losgi dan reolaeth wedi canolbwyntio ar feysydd megis y Pennines yn Lloegr sydd wedi bod yn destun rholi rostir grugieir am dros ganrif, yn ogystal â phwysau dynol arall megis llygredd aer, sydd wedi cynyddu'r gorchudd o *Calluna* coediog sydd yn llosgi'n hawdd, ar draul *Sphagnum* sydd yn dal lleithder a chronni C. Mewn mawndiroedd naturiol, mae tyfiant fertigol cyflym *Sphagnum* i bob pwrpas yn cyfyngu faint o fiomas coediog sydd yn gallu cronni uwch ben yr haen o fwsogl, sydd yn golygu bod systemau o'r fath yn gynhenid yn llai agored i losgi. Hefyd, mae nifer o ardaloedd o gorsydd blanced sydd wedi cael eu rheoli ar gyfer grugieir wedi bod yn destun sychu hefyd, naill ai'n fwriadol (drwy ddraenio) neu'n anfwriadol (o ganlyniad i erydiad rhigolau), ac mae hynny yn cynyddu'r risg y bydd tanau gwyllt yn llosgi i lawr i'r pridd organig. Felly efallai bydd y systemau yma sydd wedi cael eu haddasu i raddau helaeth angen lefel o ymyrraeth reoli a gwarchodaeth nad oes ei angen ar gorsydd blanced eraill (megis y rhai yng Nghymru) na effeithiwyd gymaint arnynt. Er enghraifft, mae'r astudiaeth ddiweddar gan Marrs et al. (2019) yn defnyddio canlyniadau o arbrawf Moor House fel sail ar gyfer argymhelliad y dylai 'rhostir boreal' yn gyffredinol gael ei losgi dan reolaeth er mwyn lleihau risg tanau gwyllt. Mae dilysrwydd yr allosodiad yma o un safle wedi cael ei herio'n gadarn (Baird et al., mewn adolygiad). Ym mhob achos pan fo lefel trwythiad wedi cael ei ostwng drwy gamau rheoli, bydd ail wlychu yn lleihau'r risg o dannau yn llosgi'r pridd.

## 6.4 Coedwigo a Datgoedwigo

### 6.4.1 Achosiaeth

**AMBR:** Mae coedwigo a datgoedwigo yn achosi risg sylweddol i SOC ar ucheldir. Ar ôl coedwigo, mae cynnydd mewn C gaiff ei storio uwch ben y ddaear yn debygol - ond efallai na fydd hynny yn digolledu am golli C o fawn.

Mae coedwigo ar fawndir, megis amaeth a chynaeafu mawn, yn gysylltiedig â draenio (Laine et al., 2009), sydd yn ei dro yn gallu arwain at golli SOC o ganlyniad i gynnydd mewn anadliad. Yn ddiddorol, gall datgoedwigo ar fawndir hefyd arwain at golli carbon yn y tymor byr; mae meta-ddadansoddiad yn awgrymu nad yw datgoedwigo ar fawndir yn gyffredinol yn gysylltiedig â buddion ar gyfer y gyllideb C (er mai dim ond ychydig iawn o astudiaethau oedd yn bodoli; Worrall et al., 2011a). Gallai hynny fod oherwydd nad yw coed mwyach yn atafaelu C, a bod gweddillion coed yn dadelfennu. Hyd yn oed os bydd gostyngiad mewn allyriadau  $\text{CO}_2$  o ganlyniad i ddatgoedwigo, er enghraifft o ganlyniad i ostyngiad mewn anadliad gwreiddiau, gall allyriadau  $\text{CH}_4$  a  $\text{N}_2\text{O}$  gynyddu (Worrall et al., 2011a). Ystyriwyd datgoedwigo ar ei ben ei hun yma, nid yn gysylltiedig ag adfer mawndir yn dilyn hynny.

Canfu un meta-ddadansoddiad fuddion coedwigo ar gyfer cyllideb C, ond yn bennaf o astudiaethau mewn gwledydd Nordig a Baltig, sydd yn aml yn defnyddio dulliau silfffermwrol yn seiliedig ar reoli clystyrau naturiol o goed (Worrall et al., 2011a). Ond yn ucheldir yr Alban dangoswyd bod adfywio naturiol (Miles a Young, 1980) a phlannu bedw yn arbrofol (Mitchell et al., 2007) (*Betula* spp.) ar rostir grug yn lleihau dyfnder yr haen torllwyth a chynnwys carbon pridd.

### 6.4.2 Buddion ar y cyd a chyfnewidiadau

Mae'n debygol bod coedwigo yn cynyddu'r C gaiff ei storio uwch ben y ddaear, a gall gynyddu bioamrywiaeth coetir (o bosibl ar draul bioamrywiaeth sydd yn gysylltiedig â chynefinoedd ucheldir allweddol). Mae'r effeithiau mewn perthynas â lliniaru llifogydd yn gymysg (gweler yr adolygiad Lliniaru Llifogydd).

### 6.4.3 Maint

Canfu un astudiaeth bod mawn na tharfwyd arno yn yr Alban yn cronni  $\sim 0.25$  t C ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup>, ond rhwng 2-4 blynedd ar ôl coedwigo allyrrir rhwng 2 a 4 t C ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup> (Hargreaves et al., 2003). Yn yr hirdymor gallai'r gost i gyllideb GHG fod yn anferthol.

### 6.4.4 Amserlen

Disgwylir y bydd plannu coed ar fawndir yn arwain at golli carbon yn syth. Ond, ar ôl ailsefydlu fflora ar y tir, gallai'r system a goedwigwyd fod yn sinc carbon (Hargreaves et al., 2003). Ond, mae'r gyllideb C yn cael ei ysgogi gan fiomas uwch ben y ddaear ac nid SOC. Efallai y bydd tyfiant coed ond yn digolledu am ddadelfennu SOC mawn gwaelodol am 90-190 o flynyddoedd. Yn yr hirdymor, gall cylchu coedwigaeth arwain at effeithiau posibl ar briddoedd organo-fwynol sydd yn gysylltiedig ag aflonyddu o ganlyniad i dorri coed ac ailblannu (Vanguelova et al., 2018).

### 6.4.5 Materion gofodol

Mae asidedd yn gyfyngiad allweddol mewn perthynas â phlannu coed yng Nghymru, a bydd addasrwydd gwahanol rywogaethau yn amrywio yn seiliedig ar briddoedd a'r hinsawdd. Mae'r effeithiau yn ddibynnol iawn ar yr amodau cyn plannu coed. Yn ystod y ganrif ddiwethaf, plannwyd conwydd sydd yn tyfu'n gyflym ar ardaloedd sylweddol o fawndir (Pyrwydd Sitca *Picea sitchensis* fel arfer); mae'r arferiad yma yn unol â Chyfarwyddeb Cynefinoedd y DU a chanllawiau gan y Comisiwn Coedwigaeth yn erbyn plannu coed ar gorsydd "actif" neu rai y gellir eu hadfer (Worrall et al., 2011a).

### 6.4.6 Dadleoli

Hefyd mae'n bwysig ystyried ffawd yr C mewn coed a dorwyd, oherwydd gallai hynny ddychwelyd i'r atmosffer wrth e.e. hylogsi. Neu gellid ei storio am gyfnodau maith mewn e.e. dodrefn.

### 6.4.7 Rhwystrau cymdeithasol ac economaidd

Efallai bod y gymuned ffermio leol yn tybio bod planhigfeydd conwydd masnachol mawr yn negyddol (Cyswllt Ffermio, *cyfathrebiad personol*).

## 7 Bylchau yn y Dystiolaeth

Mae rhai bylchau allweddol yn y dystiolaeth a amlygwyd yn ystod yr adolygiad yma fel a ganlyn:

- i. Beth yw'r polisi neu strwythur cynllun gorau er mwyn darparu ychwanegolrwydd ymyriadau ar gyfer SOC? Pa gamau mae ffermwyr yn debygol o'u cymryd yn absenoldeb Cynllun Ffermio Cynaliadwy? Sut y gallwn osgoi effeithiau dadleoli ar SOC, o fewn ffermydd a rhwng ffermydd?
- ii. Er y gallai dulliau gwrteithio arwain at effeithiau cadarnhaol ar SOC mewn glaswelltiroedd dwys, mae nifer o astudiaethau yn awgrymu bod y gwrthwyneb yn wir ar bridd ucheldir sydd yn organig gyfoethog. Mae penderfynu a yw hyn yn wir yn gritigol. Hefyd, pa mor organig (h.y. cyfoeth SOC) y mae angen i bridd fod cyn bod effeithiau gwelliannau yn gwbl niweidiol?
- iii. Mae dyfnder yn parhau i fod yn broblem wrth ystyried stociau SOC. Mae'r rhan helaeth o astudiaethau wedi eu cynnal ar 30cm uchaf y pridd. Amlygodd Ward et al. (2016) swm y carbon mewn glaswelltiroedd (~60%) sydd yn bodoli yn is na 30cm. Mae hyn yn hyd yn oed mwy critigol yn achos mawndiroedd, allai fod yn eithriadol ddwfn.
- iv. O dan ba amgylchiadau mae llosgi dan reolaeth yn lleihau SOC? Mae'n rhaid i astudiaethau weithredu gan ystyried dyfnder, a dros gyfnodau hir, ac edrych ar effeithiau mewn amrywiaeth eang o gyd-destunau; gall safleoedd sydd â hanes o losgi dan reolaeth ymateb yn wahanol i safleoedd sydd heb hanes o losgi dan reolaeth. O dan ba amgylchiadau mae tanau gwyllt yn ddewis amgen i losgi dan reolaeth?
- v. Ym mha ffordd mae pori yn effeithio ar SOC yng Nghymru, yng nghyd-destun ucheldir a thir wedi'i wella? Mae astudiaethau yn dangos effeithiau pori ar wahân o ganlyniad i ymarferion rheoli cysylltiedig pan fo hynny'n bosibl. Ym mha ffordd mae pori wedi effeithio ar rug a SOC yn yr ucheldir?
- vi. Beth yw ffawd C pridd yn dilyn erydiad? A yw'r C yma yn cael ei sefydlogi mewn gwaddod y môr, neu'n cael ei ocsideiddio yn CO<sub>2</sub> (Buckingham et al., 2013)?
- vii. Mae gostyngiad mewn torllwyth wedi cael ei astudio'n helaeth ar dyndir, ond nid i'r un graddau ar laswelltir, yn arbennig yng nghyd-destun Cymru. Mae angen mwy o feta-ddadansoddiadau o ostyngiad mewn torllwyth a SOC ar gyfer tyndiroedd, tra bod angen ymchwil sylfaenol ar gyfer glaswelltiroedd.
- viii. Mewn perthynas â sefydlogi N, o dan ba amodau y gellir cynnal yr helaethder o godlysiau a ddymunir (Lüscher et al., 2014)? Mae hynny yn gritigol er mwyn osgoi aredig ac ailblannu dro ar ôl tro, ac er mwyn sicrhau bod SOC yn cael ei storio.
- ix. Pa dechnolegau eraill sydd yn bodoli gallai helpu atafaeliad SOC? Mae Whitmore et al. (2015) yn nodi bod amrywiaeth genetig mewn rhinweddau planhigion sydd yn tanategu atafaeliad C yn dechrau cael ei nodweddu, a bod hynny yn amlygu'r posibilrwydd o beiriannu genetig ar gyfer nodweddion o'r fath mewn rhywogaethau amaethyddol. Hefyd, mae cnydau lluosflwydd yn tueddu i atafaelu mwy o C na chnydau blynyddol, ac efallai y bydd cnydau lluosflwydd masnachol yn ymddangos yn ystod y degawdau nesaf (Royal Society, 2009).

## 8 Crynodeb

### Allwedd Lliw:

- **Blue** = wedi ei brofi'n dda mewn nifer o safleoedd gyda deilliannau sydd yn gyson â'r gadwyn resymegol gydnabyddedig. Dim anfanteision rhesymol neu gyfyngiadau ymarferol mewn perthynas â gweithredu hyn yn llwyddiannus.
- **Ambr** = cytundeb yn y gymuned arbenigol bod yna gadwyn resymegol o ymyrraeth ellid ei chefnogi, ond mae naill ai'r dystiolaeth ar hyn o bryd yn gyfyngedig a/neu mae yna beth cyfnewidiadau neu anfanteision y mae angen i LIC eu hystyried.
- **Pinc** = naill ai nid yw barn arbenigwyr yn cefnogi'r gadwyn resymegol a/neu er bod y gadwyn resymegol yn awgrymu y dylai weithio, mae yna dystiolaeth o un neu ragor o'r canlynol:
  - mae ei botensial ymarferol yn gyfyngedig oherwydd ystod o faterion (e.e. y tu hwnt i ddisgwyliad rhesymol cymorth ymgynghorol ellir ei gynnig a/neu deilliant amrywiol iawn sydd y tu hwnt i ddealltwriaeth bresennol neu allu i dargedu).
  - mae'r deilliant/budd yn rhy fach, ac nid oes llawer o gyd-fuddion fel nad yw efallai yn werth y costau gweinyddu,
  - mae yna gyfnewidiadau arwyddocaol.

**Tabl 8.1** Glaswelltir Wedi'i Wella

Hyder	Enw'r Ymyrraeth	Deilliannau Allweddol	Buddion Allweddol	Pryderon critigol
Glas	Gwrtaith Organig	Atafaeliad GHG, Lefelau is o risg ariannol, Cynnydd mewn cynhyrchiant	Lliniaru newid yn yr hinsawdd, Rheoli risgiau rhesymol yn effeithlon, Gwell cystadleurwydd	Targedu gofalus yn allweddol. Buddion gorau pan fo'r ddbyniaeth ar wrtaith a weithgynhyrchwyd yn cael ei leihau. Rhaid cymryd gofal er mwyn osgoi gormod o fwynau a thrwytholchi nitrogen.
	Atal trosi yn dir â/ lleihau troi tir	Atafaeliad GHG, Lefelau is o risg biolegol ac amgylcheddol	Lliniaru newid yn yr hinsawdd, Rheoli risgiau rhesymol yn effeithlon	Cronfa dystiolaeth gadarn, ond mae'n anodd gwybod a yw trosi yn risg yng Nghymru a ble fyddai hynny'n wir. Nid yw ymyriadau troi tir ar laswelltiroedd yn ddealliedig iawn. Cyfnewidiadau posibl â chynhyrchiant
Ambr	Calchu	Atafaeliad GHG, Lefelau is o risg ariannol, Cynnydd mewn cynhyrchiant	Lliniaru newid yn yr hinsawdd, Rheoli risgiau rhesymol yn effeithlon, Gwell cystadleurwydd	Allyriadau carbon uniongyrchol wrth ei ddefnyddio, ond gall leihau defnydd o NPK ac allyriadau cysylltiedig. Gall fod yna risgiau yn gysylltiedig â chalchu priddoedd organig
	Pori a thorri	Atafaeliad GHG, Lefelau is o risg ariannol, Cynnydd mewn cynhyrchiant	Lliniaru newid yn yr hinsawdd, Rheoli risgiau rhesymol yn effeithlon, Gwell cystadleurwydd	Gall rheoli er mwyn lleihau gorborei fod o fudd i SOC a chynhyrchiant. Ond mae torri a phori yn gwaredu C llystyfiannol ac yn hwyluso cynhyrchiant GHG gan dda byw.

	Rheoli Glastiroedd	Atafaeliad GHG, Lefelau is o risg ariannol, Cynnydd mewn cynhyrchiant	Lliniaru newid yn yr hinsawdd, Rheoli risgiau rhesymol yn effeithlon, Gwell cystadleurwydd	O'i ddefnyddio yn y cyd-destun priodol, ac er mwyn lleihau gwrtaith a weithgynhyrchwyd, gall sefydlogi N biolegol a gweiriau gwraidd dwfn ddiogelu SOC a chyd-fuddion. Gall buddion bioamrywiaeth fod yn gyfyngedig heb fwy o amrywiaeth.
	Coedwigo, Gwrychoedd, Agrogoedwig aeth ac Adfer Cynefinoedd	Atafaelu GHG, Gwell darpariaeth o gynefinoedd sydd yn gweithio, Liniaru risg Llifogydd.	Lliniaru newid yn yr hinsawdd, Ecosystemau cydnerth, Ansawdd dŵr uchel	Tystiolaeth o SOC yn gymysg, ond storio C uwch ben y ddaear yn arwyddocaol. Cyfnewidiadau posibl â chynhyrchiant, ond buddion o ran bioamrywiaeth
Pinc	Defnyddio gwrtaith wedi'i weithgynhyrc hu	Gwell cynhyrchiant	Gwell cystadleurwydd	Allyriadau GHG wedi eu dadleoli i'r man cynhyrchu N; trwytholchi nitrogen ac allyriadau ocsid nitraidd.



**Tabl 8.2 Tyndir**

Hyder	Enw'r Ymyrraeth	Deilliannau Allweddol	Buddion Allweddol	Pryderon critigol
Glas	Cnydau gorchudd	Atafaeliad GHG, Gostyngiad mewn llygryddion dŵr, Lefelau is o risg biolegol ac amgylcheddol	Lliniaru newid yn yr hinsawdd, Gwell Ansawdd Dŵr, Rheoli risgiau rhesymol yn effeithlon	Yn debygol o atal erydiad SOC. Gall gynyddu SOC o ganlyniad i waddod. Risgiau yn gysylltiedig ag allyriadau N <sub>2</sub> O, ond llai o drwytholchi maethynnau ac enillion posibl o ran cynhyrchiant
	Trosi i laswelltir/cynnwys gwndwn gwair	Atafaeliad GHG, Lefelau is o risg biolegol ac amgylcheddol	Lliniaru newid yn yr hinsawdd, Rheoli risgiau rhesymol yn effeithlon	Tystiolaeth glir o enillion SOC. Gallai hynny fod o fudd i fioamrywiaeth a lleihau trwytholchi maethynnau, ond gall fod yna gyfnewidiadau â phroffidioldeb. Effeithiau dadleoli yn bosibl
Ambr	Coedwigo ac agrogoedwigaeth	Atafaelu GHG, Gwell darpariaeth o gynefinoedd sydd yn gweithio.	Lliniaru newid yn yr hinsawdd, Ecosystemau cydnerth	Mae'n amlwg yn cynyddu SOC, C uwch ben y ddaear a bioamrywiaeth, ond cyfnewidiadau â chynhyrchiant. Yn dangos addewid os yn coedwigo tir nad yw'n gynhyrchiol, neu drwy agrogoedwigaeth
	Mewnbynnau organig a bio-olosg	Atafaeliad GHG	Lliniaru newid yn yr hinsawdd	Gall fod yn anymarferol symud tail i dir âr. Problemau ynghylch cylch oes mewn perthynas a mewnbynnau organig eraill.
	Llai o Droï Tir a Dim Troï Tir	Atafaeliad GHG	Lliniaru newid yn yr hinsawdd	Effeithiau SOC yn gymysg, gyda chynnydd ar yr wyneb a gostyngiad mewn perthynas a dyfnder. Mae cydfuddion yn bosibl, yn gysylltiedig â chnydau gorchudd, ond risgiau o allyriadau N <sub>2</sub> O a cholli cnydau.
Pinc	Cynnydd mewn Gwrtaith a Weithgynhyrchwyd	Gwell cynhyrchiant	Gwell cystadleurwydd	Allyriadau GHG wedi eu dadleoli i'r man cynhyrchu N; trwytholchi nitrogen ac allyriadau ocsid nitraidd.

**Tabl 8.3 Cynefinoedd ucheldir**



Hyder	Enw'r Ymyrraeth	Deilliannau Allweddol	Buddion Allweddol	Pryderon critigol
Glas	Atal Draenio ac Adfer Mawndiroedd	Atafaelu GHG, Lleihau llygryddion dŵr, Gwell darpariaeth o gynefinoedd sydd yn gweithio.	Lliniaru newid yn yr hinsawdd, Ansawdd dŵr uchel, Ecosystemau cydnerth	Mae mawn yn storio symiau enfawr o garbon y mae angen ei warchod. Mae ymdrechion i adfer wedi arwain at ganlyniadau cymysg, a rhyddhau CH4. Gall mawn a adferwyd ostwng costau trin dŵr
Ambr	Atal gwella a lleihau dwysedd pori.	Atafaelu GHG, Gwell darpariaeth o gynefinoedd sydd yn gweithio.	Lliniaru newid yn yr hinsawdd, Ecosystemau cydnerth	Mae atal gwella yn debygol o atal colledion SOC, ond efallai na fydd lleihau pori yn arwain at adfer SOC. Mae angen mwy o ymchwil i ostyngiadau SOC a sut mae brwydro yn erbyn hynny.
	Llosgi	Gwell darpariaeth o gynefinoedd sydd yn gweithio, Gwell gallu i ymateb i amodau'r farchnad drwy incwm amrywiol	Ecosystemau cydnerth, Ffrydiau incwm busnes newydd o ffynonellau busnes nad ydynt yn rhai amaethyddol	Mae'r dystiolaeth ar gyfer effeithiau llosgi dan reolaeth ar SOC yn brin a chymysg. Yn bennaf mae'n awgrymu gostyngiad mewn SOC, ond y dewis arall fyddai tanau gwyllt efallai. Pryderon am Ansawdd Dŵr
	Coedwigo/Datgoed wigo	Gwell gallu i ymateb i amodau'r farchnad drwy incwm amrywiol	Ffrydiau incwm busnes newydd o ffynonellau busnes nad ydynt yn rhai amaethyddol	Mae coedwigo a datgoedwigo yn achosi risg sylweddol i SOC ar ucheldir. Ar ôl coedwigo, efallai na fydd cynnydd mewn C gaiff ei storio uwch ben y ddaear yn digolledu am golli C o fawn.

## 9 Cyfeiriadau

Abdalla, M., Hastings, A., Chadwick, D.R., Jones, D.L., Evans, C.D., Jones, M.B., Rees, R.M., Smith, P., 2018. Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. *Agric. Ecosyst. Environ.* 253, 62–81. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.023>

Alanen, E.-L., Hyvönen, T., Lindgren, S., Härmä, O., Kuussaari, M., 2011. Differential responses of bumblebees and diurnal Lepidoptera to vegetation succession in long-term set-aside. *J. Appl. Ecol.* 48, 1251–1259. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02012.x>

Alison, J., Duffield, S.J., Morecroft, M.D., Marrs, R.H., Hodgson, J.A., 2017. Successful restoration of moth abundance and species-richness in grassland created under agri-environment schemes. *Biol. Conserv.* 213, 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.07.003>

Alvarez, R., 2005. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use Manag.* 21, 38–52. <https://doi.org/10.1079/SUM2005291>

Ammann, C., Flechard, C.R., Leifeld, J., Neftel, A., Fuhrer, J., 2007. The carbon budget of newly established temperate grassland depends on management intensity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121, 5–20. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.002>

Angers, D.A., Eriksen-Hamel, N.S., 2008. Full-Inversion Tillage and Organic Carbon Distribution in Soil Profiles: A Meta-Analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 1370. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0342>

Armstrong, A., Holden, J., Luxton, K., Quinton, J.N., 2012. Multi-scale relationships between peatland vegetation type and dissolved organic carbon concentration. *Ecol. Eng.* 47, 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.06.027>

Armstrong, E., 2016. Research Briefing of the National Assembly for Wales 16-053: The Farming Sector in Wales.

Baah-Acheamfour, M., Chang, S.X., Carlyle, C.N., Bork, E.W., 2015. Carbon pool size and stability are affected by trees and grassland cover types within agroforestry systems of western Canada. *Agric. Ecosyst. Environ.* 213, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.016>

Baggs, E.M., Rees, R.M., Smith, K.A., Vinten, A.J.A., 2000. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. *Soil Use Manag.* 16, 82–87.

Bai, X., Huang, Y., Ren, W., Coyne, M., Jacinthe, P., Tao, B., Hui, D., Yang, J., Matocha, C., 2019. Responses of soil carbon sequestration to climate smart agriculture practices: A meta-analysis, *Global Change Biology.* <https://doi.org/10.1111/gcb.14658>

Baker, J.M., Ochsner, T.E., Venterea, R.T., Griffis, T.J., 2007. Tillage and soil carbon sequestration - What do we really know? *Agric. Ecosyst. Environ.* 118, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.014>

Bardgett, R.D., Marsden, J.H., Howard, D.C., 1995. The Extent and Condition of Heather on Moorland in the Uplands of England and Wales. *Biol. Conserv.* 71, 155–161.

Bellamy, P.E., Stephen, L., Maclean, I.S., Grant, M.C., 2012. Response of blanket bog vegetation to drain-blocking. *Appl. Veg. Sci.* 15, 129–135. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2011.01151.x>

Bellamy, P.H., Loveland, P.J., Bradley, R.I., Lark, R.M., Kirk, G.J.D., 2005. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. *Nature* 437, 245–248. <https://doi.org/10.1038/nature04038>

Bergström, L., Goulding, K.W.T., 2005. Perspectives and Challenges in the Future Use of Plant Nutrients in Tilled and Mixed Agricultural Systems. *AMBIO A J. Hum. Environ.* 34, 283–287. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.4.283>

Billett, M.F., Charman, D.J., Clark, J.M., Evans, C.D., Evans, M.G., Ostle, N.J., Worrall, F., Burden, A., Dinsmore, K.J., Jones, T., McNamara, N.P., Parry, L., Rowson, J.G., Rose, R., 2010. Carbon balance of UK peatlands: Current state of knowledge and future research challenges. *Clim. Res.* 45, 13–29. <https://doi.org/10.3354/cr00903>

Bossuyt, B., Deckers, J., Hermy, M., 2010. A field methodology for assessing man-made disturbance in forest soils developed in loess. *Soil Use Manag.* 15, 14–20. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1999.tb00056.x>

Bot, A., Benites, J., 2005. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production. *FAO Soils Bull.*

Brock, C., Fließbach, A., Oberholzer, H.R., Schulz, F., Wiesinger, K., Reinicke, F., Koch, W., Pallutt, B., Dittman, B., Zimmer, J., Hülsbergen, K.J., Leithold, G., 2011. Relation between soil organic matter and yield levels of nonlegume crops in organic and conventional farming systems. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174, 568–575. <https://doi.org/10.1002/jpln.201000272>

Buckingham, S., Cloy, J., Topp, K., Rees, B., Webb, J., 2013. Capturing Cropland and Grassland Management Impacts on Soil Carbon in the UK LULUCF Inventory. Defra project SP1113.

Cardinael, R., Chevallier, T., Barthès, B.G., Saby, N.P.A., Parent, T., Dupraz, C., Bernoux, M., Chenu, C., 2015. Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon - A case study in a Mediterranean context. *Geoderma* 259–260, 288–299. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.015>

Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B.G., Dupraz, C., Durand, C., Kouakoua, E., Chenu, C., 2017. Agriculture, Ecosystems and Environment Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agric. Ecosyst. Environ.* 236, 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.011>

Carter, M.R., Gregorich, E.G., 2010. Carbon and nitrogen storage by deep-rooted tall fescue (*Lolium arundinaceum*) in the surface and subsurface soil of a fine sandy loam in eastern Canada. *Agric. Ecosyst. Environ.* 136, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.12.005>

Castellano, M.J., Mueller, K.E., Oik, D.C., Sawyer, J.E., Six, J., 2015. Integrating plant litter quality, soil organic matter stabilization, and the carbon saturation concept. *Glob. Chang. Biol.* 21, 3200–3209. <https://doi.org/10.1111/gcb.12982>

Chamberlain, P.M., Emmett, B.A., Scott, W.A., Black, H.I.J., Hornung, M., Frogbrook, Z.L., 2010. No change in topsoil carbon levels of Great Britain, 1978–2007. *Biogeosciences Discuss.* 7, 2267–2311. <https://doi.org/10.5194/bgd-7-2267-2010>

Chandler, K.R., Stevens, C.J., Binley, A., Keith, A.M., 2018. Influence of tree species and forest land use on soil hydraulic conductivity and implications for surface runoff generation. *Geoderma* 310, 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.011>

Chenu, C., Angers, D.A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., Balesdent, J., 2019. Increasing

organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil Tillage Res.* 188, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011>

Clay, G.D., Worrall, F., Rose, R., 2010. Carbon budgets of an upland blanket bog managed by prescribed fire. *J. Geophys. Res. Biogeosciences* 115, 1–14. <https://doi.org/10.1029/2010JG001331>

Conant, R.T., 2010. Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems: A technical report on grassland management and climate change mitigation, Lockhart and Wiseman's Crop Husbandry Including Grassland. Rome, Italy. <https://doi.org/10.1533/9781855736504.2.208>

Conant, R.T., Paustian, K., Elliott, E.T., 2001. Grassland Management and Conversion Into Grassland: Effects on Soil Carbon. *Ecol. Appl.* 11, 343–355.

Crowther, T.W., Todd-Brown, K.E.O., Rowe, C.W., Wieder, W.R., Carey, J.C., MacHmuller, M.B., Snoek, B.L., Fang, S., Zhou, G., Allison, S.D., Blair, J.M., Bridgham, S.D., Burton, A.J., Carrillo, Y., Reich, P.B., Clark, J.S., Classen, A.T., Dijkstra, F.A., Elberling, B., Emmett, B.A., Estiarte, M., Frey, S.D., Guo, J., Harte, J., Jiang, L., Johnson, B.R., Kroël-Dulay, G., Larsen, K.S., Laudon, H., Lavalley, J.M., Luo, Y., Lupascu, M., Ma, L.N., Marhan, S., Michelsen, A., Mohan, J., Niu, S., Pendall, E., Peñuelas, J., Pfeifer-Meister, L., Poll, C., Reinsch, S., Reynolds, L.L., Schmidt, I.K., Sistla, S., Sokol, N.W., Templer, P.H., Treseder, K.K., Welker, J.M., Bradford, M.A., 2016. Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature* 540, 104–108. <https://doi.org/10.1038/nature20150>

Davies, G.M., Kettridge, N., Stoof, C.R., Gray, A., Ascoli, D., Fernandes, P.M., Marrs, R., Allen, K.A., Doerr, S.H., Clay, G.D., McMorrow, J., Vandvik, V., 2016. The role of fire in UK peatland and moorland management: the need for informed, unbiased debate. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 371, 20150342. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0342>

De Stefano, A., Jacobson, M.G., 2018. Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. *Agrofor. Syst.* 92, 285–299. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0147-9>

Derner, J.D., Boutton, T.W., Briske, D.D., 2006. Grazing and ecosystem carbon storage in the North American Great Plains. *Plant Soil* 280, 77–90. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-2554-3>

Desjardins, R.L., Smith, W., Grant, B., Campbell, C., Riznek, R., 2005. Management Strategies to Sequester Carbon in Agricultural Soils and To Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Clim. Change* 70, 283–297.

Dinsmore, K.J., Billett, M.F., Skiba, U.M., Rees, R.M., Drewer, J., Helfter, C., 2010. Role of the aquatic pathway in the carbon and greenhouse gas budgets of a peatland catchment. *Glob. Chang. Biol.* 16, 2750–2762. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02119.x>

Douglas, D.J.T., Buchanan, G.M., Thompson, P., Amar, A., Fielding, D.A., Redpath, S.M., Wilson, J.D., 2015. Vegetation burning for game management in the UK uplands is increasing and overlaps spatially with soil carbon and protected areas. *Biol. Conserv.* 191, 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.014>

Emmett, B., Reynolds, B., Chamberlain, P.M., Rowe, E., Spurgeon, D., Brittain, S.A., Frogbrook, Z., Hughes, S., Lawlor, A.J., Poskitt, J., Potter, E., Robinson, D.A., Scott, A., Wood, C., Woods, C., 2010. CS Technical Report No. 9/07: Soils Report from 2007.

Emmett, B.A., the GMEP team, 2017. Glastir Monitoring & Evaluation Programme. Final Report to Welsh Government. Contract reference: C147/2010/11. NERC/Centre for Ecology

& Hydrology (CEH Projects: NEC04780/NEC05371/NEC05782).

Erismann, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z., Winiwarter, W., 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nat. Geosci.* 1, 636–639. <https://doi.org/10.1038/ngeo325>

Evans, C., Rawlins, B., Grebby, S., Scholefield, P., Jones, P., 2015. Glastir Monitoring & Evaluation Programme. Mapping the extent and condition of Welsh peat. Welsh Government (Contract reference: C147/2010/11). NERC/Centre for Ecology & Hydrology (CEH Project: NEC04780).

Evans, C.D., Artz, R., Moxley, J., Smyth, M.-A., Taylor, E., Archer, N., Burden, A., Williamson, J., Donnelly, D., Thomson, A., Buys, G., Malcolm, H., Wilson, D., Renou-Wilson, F., 2019a. Implementation of an Emissions Inventory for UK Peatlands. Report to the Department for Business, Energy and Industrial Strategy, NEC05401/ Issue number 1.

Evans, C.D., Baird, A.J., Green, S.M., Page, S.E., Peacock, M., Reed, M.S., Rose, N.L., Stoneman, R., Thom, T.J., Young, D.M., Garnett, M.H., 2019b. Comment on: "Peatland carbon stocks and burn history: Blanket bog peat core evidence highlights charcoal impacts on peat physical properties and long-term carbon storage", by A. Heinemeyer, Q. Asena, W.L. Burn and A.L. Jones (in press). *Geo Geogr. Environ.*

Evans, C.D., Bonn, A., Holden, J., Reed, M.S., Evans, M.G., Worrall, F., Couwenberg, J., Parnell, M., 2014. Relationships between anthropogenic pressures and ecosystem functions in UK blanket bogs: Linking process understanding to ecosystem service valuation. *Ecosyst. Serv.* 9, 5–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.06.013>

Evans, C.D., Malcolm, I.A., Shilland, E.M., Rose, N.L., Turner, S.D., Crilly, A., Norris, D., Granath, G., Monteith, D.T., 2017. Sustained Biogeochemical Impacts of Wildfire in a Mountain Lake Catchment. *Ecosystems* 20, 813–829. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-0064-1>

Evans, C.D., Monteith, D.T., Cooper, D.M., 2005. Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: Observations, possible causes and environmental impacts. *Environ. Pollut.* 137, 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.12.031>

Evans, C.D., Worrall, F., Holden, J., Chapman, P., Smith, P., Artz, R., 2011. A programme to address evidence gaps in greenhouse gas and carbon fluxes from UK peatlands. JNCC Report No. 422.

Falloon, P., Powlson, D., Smith, P., 2010. Managing field margins for biodiversity and carbon sequestration: a Great Britain case study. *Soil Use Manag.* 20, 240–247. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2004.tb00364.x>

Ford, H., Healey, J.R., Webb, B., Pagella, T.F., Smith, A.R., 2019. How do hedgerows influence soil organic carbon stock in livestock-grazed pasture? *Soil Use Manag.* Accepted a. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/sum.12517>

Fornara, D.A., Steinbeiss, S., Mcnamara, N.P., Gleixner, G., Oakley, S., Poulton, P.R., Macdonald, A.J., Bardgett, R.D., 2011. Increases in soil organic carbon sequestration can reduce the global warming potential of long-term liming to permanent grassland. *Glob. Chang. Biol.* 17, 1925–1934. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02328.x>

Fornara, D.A., Tilman, D., 2008. Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. *J. Ecol.* 96, 314–322. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01345.x>

- Freibauer, A., Rounsevell, M.D.A., Smith, P., Verhagen, J., 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.021>
- Fullen, M.A., Booth, C.A., 2006. Grass ley set-aside and soil organic matter dynamics on sandy soils in Shropshire, UK. *Earth Surf. Process. Landforms* 31, 570–578. <https://doi.org/10.1002/esp.1348>
- Garnett, M., Ineson, P., Stevenson, A., 2000. Effects of burning and grazing on carbon sequestration in a Pennine blanket bog, UK. *Holocene* 10, 729–736.
- Garnett, T., Godde, C., Muller, A., Rööös, E., Smith, P., Boer, I. de, zu Ermgassen, Erasmus Herrero, M., van Middelaar, C., Schader, C., van Zanten, H., 2017. Grazed and confused? Food Climate Research Network, Oxford Martin Programme on the Future of Food, Environmental Change Institute, University of Oxford. [https://www.fcrn.org.uk/sites/default/files/project-files/fcrn\\_gnc\\_report.pdf](https://www.fcrn.org.uk/sites/default/files/project-files/fcrn_gnc_report.pdf)
- Getahun, G.T., Kätterer, T., Munkholm, L.J., Parvage, M.M., Keller, T., Rychel, K., Kirchmann, H., 2018. Short-term effects of loosening and incorporation of straw slurry into the upper subsoil on soil physical properties and crop yield. *Soil Tillage Res.* 184, 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.06.007>
- Gibbons, J.M., Williamson, J.C., Williams, A.P., Withers, P.J.A., Hockley, N., Harris, I.M., Hughes, J.W., Taylor, R.L., Jones, D.L., Healey, J.R., 2014. Sustainable nutrient management at field, farm and regional level: Soil testing, nutrient budgets and the trade-off between lime application and greenhouse gas emissions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 188, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.016>
- Goidts, E., van Wesemael, B., 2007. Regional assessment of soil organic carbon changes under agriculture in Southern Belgium (1955-2005). *Geoderma* 141, 341–354. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.06.013>
- Goulding, K.W.T., Poulton, P.R., Webster, C.P., Howe, M.T., 2000. Nitrate leaching from the broadbalk wheat experiment, Rothamsted, UK, as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather. *Soil Use Manag.* 16, 244–250. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2000.tb00203.x>
- Grand-Clement, E., Anderson, K., Smith, D., Angus, M., Luscombe, D.J., Gatis, N., Bray, L.S., Brazier, R.E., 2015. New approaches to the restoration of shallow marginal peatlands. *J. Environ. Manage.* 161, 417–430. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.023>
- Grau-Andrés, R., Davies, G.M., Waldron, S., Scott, E.M., Gray, A., 2019. Increased fire severity alters initial vegetation regeneration across *Calluna*-dominated ecosystems. *J. Environ. Manage.* 231, 1004–1011. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.113>
- Guo, L.B., Gifford, R.M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Glob. Chang. Biol.* 8, 345–360. <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>
- Hallama, M., Pekrun, C., Lambers, H., Kandeler, E., 2019. Hidden miners – the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. *Plant Soil* 434, 7–45. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3810-7>
- Hamilton III, E.W., Frank, D.A., Hinchey, P.M., Murray, T.R., 2008. Defoliation induces root exudation and triggers positive rhizospheric feedbacks in a temperate grassland. *Soil Biol. Biochem.* 40, 2865–2873. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.08.007>

Hargreaves, K.J., Milne, R., Cannell, M.G.R., 2003. Carbon balance of afforested peatland in Scotland. *Forestry* 76, 299–317. <https://doi.org/10.1093/forestry/76.3.299>

Harper, A.R., Doerr, S.H., Santin, C., Froyd, C.A., Sinnadurai, P., 2018. Prescribed fire and its impacts on ecosystem services in the UK. *Sci. Total Environ.* 624, 691–703. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.161>

Hassink, J., 1994. Effects of Soil Texture and Grassland Management on Soil Organic C and N and Rates of C and N Mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1221–1231. <https://doi.org/10.1007/BF00674335>

Haygarth, P.M., Jarvis, S.C., 1999. Transfer of Phosphorus from Agricultural Soil. *Adv. Agron.* 66, 195–249. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60428-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60428-9)

Heinemeyer, A., Asena, Q., Burn, W.L., Jones, A.L., 2018. Peatland carbon stocks and burn history: Blanket bog peat core evidence highlights charcoal impacts on peat physical properties and long-term carbon storage. *Geo Geogr. Environ.* 5, e00063. <https://doi.org/10.1002/geo2.63>

Hellebrand, H.J., Scholz, V., Kern, J., 2008. Nitrogen conversion and nitrous oxide hot spots in energy crop cultivation. *Res. Agric. Eng.* 54, 58–67.

Henderson, B.B., Gerber, P.J., Hilinski, T.E., Falcucci, A., Ojima, D.S., Salvatore, M., Conant, R.T., 2015. Greenhouse gas mitigation potential of the world's grazing lands : Modeling soil carbon and nitrogen fluxes of mitigation practices. *Agric. Ecosyst. Environ.* 207, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.029>

Hermansen, C., Moldrup, P., Müller, K., Jensen, P.W., van den Dijssel, C., Jeyakumar, P., de Jonge, L.W., 2019. Organic carbon content controls the severity of water repellency and the critical moisture level across New Zealand pasture soils. *Geoderma* 338, 281–290. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.007>

Hobbs, R.J., 1984. Length of Burning Rotation and Community Composition in High-Level Calluna- Eriophorum Bog in N England. *Plant Ecol.* 57, 129–136.

Holden, J., 2005. Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters. *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 363. <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1671>

Holden, J., Chapman, P.J., Labadz., J.C., 2004. Artificial drainage of peatlands: hydrological and hydrochemical process and wetland restoration. *Prog. Phys. Geogr. Earth Environ.* 28, 95–123.

Holden, J., Wallage, Z.E., Lane, S.N., McDonald, A.T., 2011. Water table dynamics in undisturbed, drained and restored blanket peat. *J. Hydrol.* 402, 103–114. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.010>

Hopkins, D.W., Waite, I.S., Mcnicol, J.W., Poulton, P.R., Macdonald, A.J., O'donnell, A.G., 2009. Soil organic carbon contents in long-term experimental grassland plots in the UK (Palace Leas and Park Grass) have not changed consistently in recent decades. *Glob. Chang. Biol.* 15, 1739–1754. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01809.x>

Jobbagy, E.G., Jackson, R.B., 2000. The Vertical Distribution of Soil Organic Carbon and Its Relation to Climate and Vegetation. *Ecol. Appl.* 10, 423–436. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0423:TVDOSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0423:TVDOSO]2.0.CO;2)

- Johnston, A.E., Poulton, P.R., Coleman, K., 2009. Chapter 1 - Soil Organic Matter: Its Importance in Sustainable Agriculture and Carbon Dioxide Fluxes, 1st ed, *Advances in Agronomy*. Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(08\)00801-8](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(08)00801-8)
- Johnston, A.E., Poulton, P.R., Coleman, K., Macdonald, A.J., White, R.P., 2017. Changes in soil organic matter over 70 years in continuous arable and ley–arable rotations on a sandy loam soil in England. *Eur. J. Soil Sci.* 68, 305–316. <https://doi.org/10.1111/ejss.12415>
- Joint Nature Conservation Committee, 2011. Towards an assessment of the state of UK Peatlands, JNCC report No. 445.
- Jones, D.L., Nguyen, C., Finlay, R.D., 2009. Carbon flow in the rhizosphere: Carbon trading at the soil-root interface. *Plant Soil* 321, 5–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9925-0>
- Jones, S.K., Rees, R.M., Kosmas, D., Ball, B.C., Skiba, U.M., 2006. Carbon sequestration in a temperate grassland; management and climatic controls. *Soil Use Manag.* 22, 132–142. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00036.x>
- Jose, S., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agrofor. Syst.* 76, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- Keith, A.M., Rowe, R.L., Parmar, K., Perks, M.P., Mackie, E., Dondini, M., Mcnamara, N.P., 2015. Implications of land-use change to Short Rotation Forestry in Great Britain for soil and biomass carbon. *GCB Bioenergy* 7, 541–552. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12168>
- Kirby, K.J., Smart, S.M., Black, H.I.J., Bunce, R.G.H., Corney, P.M., Smithers, R.J., 2005. Long term ecological change in British woodland (1971–2001): A re-survey and analysis of change based on the 103 sites in the Nature Conservancy 'Bunce 1971' woodland survey. (ENRR653).
- Kirkby, C.A., Richardson, A.E., Wade, L.J., Batten, G.D., Blanchard, C., Kirkegaard, J.A., 2013. Carbon-nutrient stoichiometry to increase soil carbon sequestration Clive. *Soil Biol. Biochem.* 60, 77–86. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.01.011>
- Knox, S.H., Sturtevant, C., Matthes, J.H., Koteen, L., Verfaillie, J., Baldocchi, D., 2015. Agricultural peatland restoration: Effects of land-use change on greenhouse gas (CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>) fluxes in the Sacramento-San Joaquin Delta. *Glob. Chang. Biol.* 21, 750–765. <https://doi.org/10.1111/gcb.12745>
- Koncz, P., Pintér, K., Balogh, J., Papp, M., Hidy, D., Csintalan, Z., Molnár, E., Szaniszló, A., Kampfl, G., Horváth, L., Nagy, Z., 2017. Extensive grazing in contrast to mowing is climate-friendly based on the farm-scale greenhouse gas balance Carbon uptake. *Agric. Ecosyst. Environ.* 240, 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.022>
- Laine, J., Minkinen, K., Trettin, C., 2009. Direct Human Impacts on the Peatland Carbon Sink. *Geophys. Monogr. Ser.* 184, 71–78. <https://doi.org/10.1029/2008GM000808>
- Lal, R., 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* (80-. ). 304, 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Lamb, A., Green, R., Bateman, I., Broadmeadow, M., Bruce, T., Burney, J., Carey, P., Chadwick, D., Crane, E., Field, R., Goulding, K., Griffiths, H., Hastings, A., Kasoar, T., Kindred, D., Phalan, B., Pickett, J., Smith, P., Wall, E., zu Ermgassen, E.K.H.J., Balmford, A., 2016. The potential for land sparing to offset greenhouse gas emissions from agriculture. *Nat. Clim. Chang.* 6, 1–5. <https://doi.org/10.1038/nclimate2910>



- Lee, H., Alday, J.G., Rose, R.J., O'Reilly, J., Marrs, R.H., 2013. Long-term effects of rotational prescribed burning and low-intensity sheep grazing on blanket-bog plant communities. *J. Appl. Ecol.* 50, 625–635. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12078>
- Letten, S., Van Orshoven, J., Van Wesemael, B., Muys, B., Perrin, D., 2005. Soil organic carbon changes in landscape units of Belgium between 1960 and 2000 with reference to 1990. *Glob. Chang. Biol.* 11, 2128–2140. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001074.x>
- Li, C., Frohling, S., Butterbach-Bahl, K., 2005. Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing. *Clim. Change* 72, 321–338. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-6791-5>
- Liebig, M.A., Morgan, J.A., Reeder, J.D., Ellert, B.H., Gollany, H.T., Schuman, G.E., 2005. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agricultural practices in northwestern USA and western Canada. *Soil Tillage Res.* 83, 25–52. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.008>
- Lochon, I., Carrère, P., Revaillet, S., Bloor, J.M.G., 2018. Interactive effects of liming and nitrogen management on carbon mineralization in grassland soils. *Appl. Soil Ecol.* 130, 143–148. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.06.010>
- Longlands, S., Hunter, J., 2018. Natural Assets North: Valuing our northern uplands, IPPR. <https://www.ippr.org/files/2018-12/nan-valuing-our-northern-uplands.pdf>
- Loveland, P., Webb, J., 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil Tillage Res.* 70, 1–18. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00139-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00139-3)
- Lu, M., Zhou, X., Luo, Y., Yang, Y., Fang, C., Chen, J., Li, B., 2011. Minor stimulation of soil carbon storage by nitrogen addition: A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140, 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.010>
- Lugato, E., Leip, A., Jones, A., 2018. Mitigation potential of soil carbon management overestimated by neglecting N<sub>2</sub>O emissions. *Nat. Clim. Chang.* 8, 219–223. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0087-z>
- Luo, Z., Wang, E., Sun, O.J., 2010. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis. *Geoderma* 155, 211–223. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.12.012>
- Lüscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J.F., Rees, R.M., Peyraud, J.L., 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: A review. *Grass Forage Sci.* 69, 206–228. <https://doi.org/10.1111/gfs.12124>
- Marrs, R.H., Galtress, K., Tong, C., Cox, E.S., Blackbird, S.J., Heyes, T.J., Pakeman, R.J., Le Duc, M.G., 2007. Competing conservation goals, biodiversity or ecosystem services: Element losses and species recruitment in a managed moorland-bracken model system. *J. Environ. Manage.* 85, 1034–1047. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.011>
- Marrs, R.H., Marsland, E.L., Lingard, R., Appleby, P.G., Piliposyan, G.T., Rose, R.J., O'Reilly, J., Milligan, G., Allen, K.A., Alday, J.G., Santana, V., Lee, H., Halsall, K., Chiverrell, R.C., 2019. Experimental evidence for sustained carbon sequestration in fire-managed, peat moorlands. *Nat. Geosci.* 12, 108–112. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0266-6>
- Marrs, R.H., Sánchez, R., Connor, L., Blackbird, S., Rasal, J., Rose, R., 2018. Effects of removing sheep grazing on soil chemistry, plant nutrition and forage digestibility: Lessons for

rewilding the British uplands. *Ann. Appl. Biol.* 173, 294–301.  
<https://doi.org/10.1111/aab.12462>

Meersmans, J., Van Wesemael, B., De Ridder, F., Dotti, M.F., De Baets, S., Van Molle, M., 2009. Changes in organic carbon distribution with depth in agricultural soils in northern Belgium, 1960-2006. *Glob. Chang. Biol.* 15, 2739–2750. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01855.x>

Mikha, M.M., Rice, C.W., 2014. Tillage and Manure Effects on Soil and Aggregate-Associated Carbon and Nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 809.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj2004.8090>

Miles, J., Young, W.F., 1980. The effects on heathland and moorland soils in Scotland and northern England following colonization by birch (*Betula* spp.). *Bull. d'Ecologie* 11, 233–242.

Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.S., Cheng, K., Das, B.S., Field, D.J., Gimona, A., Hedley, C.B., Hong, S.Y., Mandal, B., Marchant, B.P., Martin, M., McConkey, B.G., Mulder, V.L., O'Rourke, S., Richer-de-Forges, A.C., Odeh, I., Padarian, J., Paustian, K., Pan, G., Poggio, L., Savin, I., Stolbovoy, V., Stockmann, U., Sulaeman, Y., Tsui, C.C., Vågen, T.G., van Wesemael, B., Winowiecki, L., 2017. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma* 292, 59–86.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>

Mitchell, R.J., Campbell, C.D., Chapman, S.J., Osler, G.H.R., Vanbergen, A.J., Ross, L.C., Cameron, C.M., Cole, L., 2007. The cascading effects of birch on heather moorland: A test for the top-down control of an ecosystem engineer. *J. Ecol.* 95, 540–554.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01227.x>

Mitchell, R.J., Marrs, R.H., Duc, M.G. Le, Auld, M.H.D., 1997. A Study of Succession on Lowland Heaths in Dorset, Southern England: Changes in Vegetation and Soil Chemical Properties. *J. Appl. Ecol.* 34, 1426–1444.

Mitchell, R.J., Marrs, R.H., Le Duc, M.G., Auld, M.H.D., 1999. A study of the restoration of heathland on successional sites: changes in vegetation and soil chemical properties. *J. Appl. Ecol.* 36, 770–783.

Mortenson, M.C., Schuman, G.E., Ingram, L.J., 2004. Carbon sequestration in rangelands interseeded with yellow-flowering alfalfa (*Medicago sativa* ssp. *falcata*). *Environ. Manage.* 33, 475–481. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-9155-9>

Moxley, J., Anthony, S., Begum, K., Bhogal, A., Buckingham, S., Christie, P., Datta, A., Dragosits, U., Fitton, N., Higgins, A., Myrghiotis, V., Kuhnert, M., Laidlaw, S., Malcolm, H., Rees, B., Smith, P., Tomlinson, S., Topp, K., Watterson, J., Webb, J., Yeluripati, J., 2014. Capturing Cropland and Grassland Management Impacts on Soil Carbon in the UK LULUCF Inventory. Defra project SP1113.

Naiman, R.J., Décamps, H., 1997. The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 28, 621–658.

Noble, A., Crowle, A., Glaves, D.J., Palmer, S.M., Holden, J., 2019. Fire temperatures and Sphagnum damage during prescribed burning on peatlands. *Ecol. Indic.* 103, 471–478.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.044>

Novoa, R.S.A., Tejada, H.R., 2006. Evaluation of the N<sub>2</sub>O emissions from N in plant residues as affected by environmental and management factors. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 75, 29–46. <https://doi.org/10.1007/s10705-006-9009-y>

Obour, P.B., Jensen, J.L., Lamandé, M., Watts, C.W., Munkholm, L.J., 2018. Soil organic matter widens the range of water contents for tillage. *Soil Tillage Res.* 182, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.001>

Pakeman, R.J., Hulme, P.D., Torvell, L., Fisher, J.M., 2003. Rehabilitation of degraded dry heather [*Calluna vulgaris* (L.) Hull] moorland by controlled sheep grazing. *Biol. Conserv.* 114, 389–400. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00067-3)

Paradelo, R., Virto, I., Chenu, C., 2015. Agriculture , Ecosystems and Environment Net effect of liming on soil organic carbon stocks : A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 202, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005>

Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F., 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies for Intergovernmental Panel on Climate Change, Kanagawa.

Pérez-Cruzado, C., Mansilla-Salinero, P., Rodríguez-Soalleiro, R., Merino, A., 2012. Influence of tree species on carbon sequestration in afforested pastures in a humid temperate region. *Plant Soil* 353, 333–353. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1035-0>

Poeplau, C., Bolinder, M.A., Eriksson, J., Lundblad, M., Kätterer, T., 2015. Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers. *Biogeosciences* 12, 3241–3251. <https://doi.org/10.5194/bg-12-3241-2015>

Poeplau, C., Don, A., Dondini, M., Leifeld, J., Nemo, R., Schumacher, J., Senapati, N., Wiesmeier, M., 2013. Reproducibility of a soil organic carbon fractionation method to derive RothC carbon pools. *Eur. J. Soil Sci.* 64, 735–746. <https://doi.org/10.1111/ejss.12088>

Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J., Gensior, A., 2011. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Glob. Chang. Biol.* 17, 2415–2427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x>

Poeplau, C., Zopf, D., Greiner, B., Geerts, R., Korvaar, H., Thumm, U., Don, A., Heidkamp, A., Flessa, H., 2018. Why does mineral fertilization increase soil carbon stocks in temperate grasslands? *Agric. Ecosyst. Environ.* 265, 144–155. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.003>

Poulton, P., Johnston, J., Macdonald, A., White, R., Powlson, D., 2018. Major limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. *Glob. Chang. Biol.* 24, 2563–2584. <https://doi.org/10.1111/gcb.14066>

Poulton, P.R., Pye, E., Hargreaves, P.R., Jenkinson, D.S., 2003. Accumulation of carbon and nitrogen by old arable land reverting to woodland. *Glob. Chang. Biol.* 9, 942–955. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00633.x>

Powlson, D.S., Bhogal, A., Chambers, B.J., Coleman, K., Macdonald, A.J., Goulding, K.W.T., Whitmore, A.P., 2012. The potential to increase soil carbon stocks through reduced tillage or organic material additions in England and Wales: A case study. *Agric. Ecosyst. Environ.* 146, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.10.004>

Powlson, D.S., Riche, A.B., Coleman, K., Glendining, M.J., Whitmore, A.P., 2008. Carbon sequestration in European soils through straw incorporation: Limitations and alternatives. *Waste Manag.* 28, 741–746. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.024>

Powlson, D.S., Whitmore, A.P., Goulding, K.W.T., 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: A critical re-examination to identify the true and the false. *Eur. J. Soil Sci.* 62, 42–55. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x>

Quinton, J.N., Catt, J.A., Wood, G.A., Steer, J., 2006. Soil carbon losses by water erosion: Experimentation and modeling at field and national scales in the UK. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112, 87–102. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.07.005>

Quinton, J.N., Govers, G., Van Oost, K., Bardgett, R.D., 2010. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nat. Geosci.* 3, 311–314. <https://doi.org/10.1038/ngeo838>

Rangel-Castro, J.I., Prosser, J.I., Scrimgeour, C.M., Smith, P., Ostle, N., Ineson, P., Meharg, A., Killham, K., 2004. Carbon flow in an upland grassland: Effect of liming on the flux of recently photosynthesized carbon to rhizosphere soil. *Glob. Chang. Biol.* 10, 2100–2108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00883.x>

Regina, K., Alakukku, L., 2010. Greenhouse gas fluxes in varying soils types under conventional and no-tillage practices. *Soil Tillage Res.* 109, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.05.009>

Reich, P.B., Oleksyn, J., Modrzynski, J., Mrozinski, P., Hobbie, S.E., Eissenstat, D.M., Chorover, J., Chadwick, O.A., Hale, C.M., Tjoelker, M.G., 2005. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: A common garden test with 14 tree species. *Ecol. Lett.* 8, 811–818. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00779.x>

Reijneveld, A., van Wensem, J., Oenema, O., 2009. Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma* 152, 231–238. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.007>

Richter, D.D., Markewitz, D., Trumbore, S.E., Wells, C.G., 1999. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest Present understanding of the global carbon cycle is limited by uncertainty over soil-carbon dynamics. *Lett. to Nat.* 400, 14–16.

Robinson, D.A., Lebron, I., Ryel, R.J., Jones, S.B., 2010. Soil Water Repellency: A Method of Soil Moisture Sequestration in Pinyon–Juniper Woodland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74, 624. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0208>

Rochette, P., 2008. No-till only increases N<sub>2</sub>O emissions in poorly-aerated soils. *Soil Tillage Res.* 101, 97–100. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.011>

Rowe, R.L., Keith, A.M., Elias, D., Dondini, M., Smith, P., Oxley, J., McNamara, N.P., 2016. Initial soil C and land-use history determine soil C sequestration under perennial bioenergy crops. *GCB Bioenergy* 8, 1046–1060. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12311>

Rowson, J.G., Gibson, H.S., Worrall, F., Ostle, N., Burt, T.P., Adamson, J.K., 2010. The complete carbon budget of a drained peat catchment. *Soil Use Manag.* 26, 261–273. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00274.x>

Royal Society, 2009. Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture. <https://doi.org/10.2104/mbr08064>

Russell, J.R., Barnhart, S.K., Morrical, D.G., Sellers, H.J., 2013. Use of mob grazing to improve cattle production, enhance legume establishment and increase carbon sequestration in Iowa pasture. Leopold Center Completed Grant Reports. 433.

Sabater, S., Butturini, A., Clement, J.C., Burt, T., Dowrick, D., Hefting, M., Maître, V., Pinay, G., Postolache, C., Rzepecki, M., Sabater, F., 2003. Nitrogen removal by riparian buffers along a European climatic gradient: Patterns and factors of variation. *Ecosystems* 6, 20–30. <https://doi.org/10.1007/s10021-002-0183-8>

Schils, R., Kuikman, P., Liski, J., van Oijen, M., Smith, P., Webb, J., Alm, J., Somogyi, Z., van den Akker, J., Billett, M., Emmett, B., Evans, C., Lindner, M., Palosuo, T., Bellamy, P., Alm, J., Jandl, R., Hiederer, R., 2008. Review of existing information on the interrelations between soil and climate change (CLIMSOIL).

Schils, R.L.M., Verhagen, A., Aarts, H.F.M., Šebek, L.B.J., 2005. A farm level approach to define successful mitigation strategies for GHG emissions from ruminant livestock systems. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 71, 163–175. <https://doi.org/10.1007/s10705-004-2212-9>

Schipper, L.A., Baisden, W.T., Parfitt, R.L., Ross, C., Claydon, J.J., Arnold, G., 2007. Large losses of soil C and N from soil profiles under pasture in New Zealand during the past 20 years. *Glob. Chang. Biol.* 13, 1138–1144. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01366.x>

Schlesinger, W.H., Amundson, R., 2019. Managing for soil carbon sequestration: Let's get realistic. *Glob. Chang. Biol.* 25, 386–389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14478>

Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R.A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D., Yu, T., 2008. Emissions from Land-Use Change. *Science* (80- ). 423, 1238–1241.

Shapiera, M., Jeziorski, A., Paterson, A.M., Smol, J.P., 2012. Cladoceran response to calcium decline and the subsequent inadvertent liming of a softwater canadian lake. *Water. Air. Soil Pollut.* 223, 2437–2446. <https://doi.org/10.1007/s11270-011-1035-y>

Smith, B.E., 2002. Nitrogenase Reveals Its Inner Secrets. *Science* (80- ). 297, 1654–1655. <https://doi.org/10.1126/science.1076659>

Smith, J., 2010. *Agroforestry: Reconciling Production with Protection of the Environment*. A synopsis of research literature. Organic Research Centre.

Smith, L., Padel, S., Pearce, B., Marshall, H., 2011. *Soil Carbon Sequestration and Organic Farming: An overview of current evidence*. Organic Centre Wales, Aberystwyth.

Smith, P., 2008. Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 81, 169–178. <https://doi.org/10.1007/s10705-007-9138-y>

Smith, P., Chapman, S.J., Scott, A.W., Black, H.I.J., Wattenbach, M., Milne, R., Campbell, C.D., Lilly, A., Ostle, N., Levy, P.E., Lumsdon, D.G., Millard, P., Towers, W., Zaehle, S., Smith, J.U., 2007a. Climate change cannot be entirely responsible for soil carbon loss observed in England and Wales, 1978-2003. *Glob. Chang. Biol.* 13, 2605–2609. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01458.x>

Smith, P., Fang, C., Dawson, J.J.C., Moncrieff, J.B., 2008a. Impact of Global Warming on Soil Organic Carbon. *Adv. Agron.* 97, 1–43. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)00001-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)00001-6)

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., 2007b. Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M., Smith, J., 2008b. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, 789–813. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2184>
- Smith, P., Powlson, D.S., Glendining, M.J., Smith, J.U., 1997. Potential for carbon sequestration in European soils: Preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. *Glob. Chang. Biol.* 3, 67–79. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1997.00055.x>
- Smith, S.W., Vandenberghe, C., Hastings, A., Johnson, D., Pakeman, R.J., van der Wal, R., Woodin, S.J., 2014. Optimizing Carbon Storage Within a Spatially Heterogeneous Upland Grassland Through Sheep Grazing Management. *Ecosystems* 17, 418–429. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9731-7>
- Smyth, M.A., Taylor, E.S., Birnie, R.V., Artz, R.R.E., Dickie, I., Evans, C., Gray, A., Moxey, A., Prior, S., Bonaventura, M., 2015. Developing Peatland Carbon Metrics and Financial Modelling to Inform the Pilot Phase UK Peatland Code. Report to Defra for Project NR0165, Crichton Carbon Centre, Dumfries.
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., Fixen, P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 133, 247–266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
- Soussana, J.-F., Loiseau, P., Vuichard, N., Ceschia, E., Balesdent, J., Chevallier, T., Arrouays, D., 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use Manag.* 20, 219–230. <https://doi.org/10.1079/sum2003234>
- Soussana, J.F., Allard, V., Pilegaard, K., Ambus, P., Amman, C., Campbell, C., Ceschia, E., Clifton-Brown, J., Czobel, S., Domingues, R., Flechard, C., Fuhrer, J., Hensen, A., Horvath, L., Jones, M., Kasper, G., Martin, C., Nagy, Z., Neftel, A., Raschi, A., Baronti, S., Rees, R.M., Skiba, U., Stefani, P., Manca, G., Sutton, M., Tuba, Z., Valentini, R., 2007. Full accounting of the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121, 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.022>
- Soussana, J.F., Lemaire, G., 2014. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.012>
- Spurgeon, D.J., Keith, A.M., Schmidt, O., Lammertsma, D.R., Faber, J.H., 2013. Land-use and land-management change: relationships with earthworm and fungi communities and soil structural properties. *BMC Ecol.* 13, 46. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-13-46>
- Steinbeiss, S., Beßler, H., Engels, C., Temperton, V.M., Buchmann, N., Roscher, C., Kreuziger, Y., Baade, J., Habekost, M., Gleixner, G., 2008. Plant diversity positively affects short-term soil carbon storage in experimental grasslands. *Glob. Chang. Biol.* 14, 2937–2949. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01697.x>
- Tilman, D., Hill, J., Lehman, C., 2006. Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. *Science* (80-. ). 314, 1598–1600. <https://doi.org/10.1126/science.1133306>
- van Groenigen, J.W., Velthof, G.L., Oenema, O., Van Groenigen, K.J., Van Kessel, C., 2010. Towards an agronomic assessment of N<sub>2</sub>O emissions: A case study for arable crops. *Eur. J. Soil Sci.* 61, 903–913. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01217.x>

Vanguelova, E., Chapman, S., Perks, M., Yamulki, S., Randle, T., Ashwood, F., Morison, J., 2018. Afforestation and restocking on peaty soils – new evidence assessment. ClimateXChange report published by Forest Research.

Vellinga, T.V., van den Pol-van Dasselaar, A., Kuikman, P.J., 2004. The impact of grassland ploughing on CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions in the Netherlands. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 70, 33–45.

Vesterdal, L., Elberling, B., Christiansen, J.R., Callesen, I., Schmidt, I.K., 2012. Soil respiration and rates of soil carbon turnover differ among six common European tree species. *For. Ecol. Manage.* 264, 185–196. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.009>

Wang, X., Wang, J., Zhang, J., 2012. Comparisons of Three Methods for Organic and Inorganic Carbon in Calcareous Soils of Northwestern China. *PLoS One* 7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044334>

Ward, S.E., Bardgett, R.D., McNamara, N.P., Adamson, J.K., Ostle, N.J., 2007. Long-term consequences of grazing and burning on northern peatland carbon dynamics. *Ecosystems* 10, 1069–1083. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9080-5>

Ward, S.E., Smart, S.M., Quirk, H., Tallowin, J.R.B., Mortimer, S.R., Shiel, R.S., Wilby, A., Bardgett, R.D., 2016. Legacy effects of grassland management on soil carbon to depth. *Glob. Chang. Biol.* 22, 2929–2938. <https://doi.org/10.1111/gcb.13246>

Weigelt, A., Weisser, Wolfgang W Buchmann, N., Scherer-Lorenzen, M., 2009. Biodiversity for multifunctional grasslands: Equal productivity in high-diversity low-input and low-diversity high-input systems. *Biogeosciences* 6. <https://doi.org/http://doi.org/10.5194/bgd-6-3187-2009>

Weisser, W.W., Roscher, C., Meyer, S.T., Ebeling, A., Luo, G., Allan, E., Beßler, H., Barnard, R.L., Buchmann, N., Buscot, F., Engels, C., Fischer, C., Fischer, M., Gessler, A., Gleixner, G., Halle, S., Hildebrandt, A., Hillebrand, H., de Kroon, H., Lange, M., Leimer, S., Le Roux, X., Milcu, A., Mommer, L., Niklaus, P.A., Oelmann, Y., Proulx, R., Roy, J., Scherber, C., Scherer-Lorenzen, M., Scheu, S., Tschamntke, T., Wachendorf, M., Wagg, C., Weigelt, A., Wilcke, W., Wirth, C., Schulze, E.D., Schmid, B., Eisenhauer, N., 2017. Biodiversity effects on ecosystem functioning in a 15-year grassland experiment: Patterns, mechanisms, and open questions. *Basic Appl. Ecol.* 23, 1–73. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.06.002>

Wharton, G., Gilvear, D.J., 2007. River restoration in the UK: Meeting the dual needs of the European union water framework directive and flood defence? *Int. J. River Basin Manag.* 5, 143–154. <https://doi.org/10.1080/15715124.2007.9635314>

Whitmore, A.P., Kirk, G.J.D., Rawlins, B.G., 2015. Technologies for increasing carbon storage in soil to mitigate climate change. *Soil Use Manag.* 31, 62–71. <https://doi.org/10.1111/sum.12115>

Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., van Wesemael, B., Rabot, E., Ließ, M., Garcia-Franco, N., Wollschläger, U., Vogel, H.J., Kögel-Knabner, I., 2019. Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma* 333, 149–162. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026>

Wild, U., Kamp, T., Lenz, A., Heinz, S., Pfadenhauer, J., 2001. Cultivation of *Typha* spp. in constructed wetlands for peatland restoration. *Ecol. Eng.* 17, 49–54. [https://doi.org/10.1016/s0925-8574\(00\)00133-6](https://doi.org/10.1016/s0925-8574(00)00133-6)

Wolton, R.J., Pollard, K.A., Goodwin, A., Norton, L., 2014. Regulatory services delivered by

hedges: the evidence base. Report of Defra project LM0106. 99pp.

Worrall, F., Burt, T.P., Adamson, J., 2006. The rate of and controls upon DOC loss in a peat catchment. *J. Hydrol.* 321, 311–325. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.08.019>

Worrall, F., Chapman, P., Holden, J., Evans, C., Artz, R., Smith, P., Grayson, R., 2011a. A review of current evidence on carbon fluxes and greenhouse gas emissions from UK peatlands. JNCC Report, No. 442.

Worrall, F., Rowson, J.G., Evans, M.G., Pawson, R., Daniels, S., Bonn, A., 2011b. Carbon fluxes from eroding peatlands - the carbon benefit of revegetation following wildfire. *Earth Surf. Process. Landforms* 36, 1487–1498. <https://doi.org/10.1002/esp.2174>

WRAP, 2015. DC-Agri; field experiments for quality digestate and compost in agriculture. Work Package 1 report: Effect of repeated digestate and compost applications on soil and crop quality. Prepared by Bhogal et al.

Wuest, S.B., Gollany, H.T., 2012. Soil Organic Carbon and Nitrogen After Application of Nine Organic Amendments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77, 237. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0184>

Yallop, A.R., Thacker, J.I., Thomas, G., Stephens, M., Clutterbuck, B., Brewer, T., Sannier, C.A.D., 2006. The extent and intensity of management burning in the English uplands. *J. Appl. Ecol.* 43, 1138–1148. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01222.x>

Zhou, G., Zhou, X., He, Y., Shao, J., Hu, Z., Liu, R., Zhou, H., Hosseinibai, S., 2017. Grazing intensity significantly affects belowground carbon and nitrogen cycling in grassland ecosystems: a meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.* 23, 1167–1179. <https://doi.org/10.1111/gcb.13431>





Ymholiadau i:

Swyddfa Prosiect ERAMMP

CEH Bangor

Canolfan Amgylchedd Cymru

Ffordd Deiniol

Bangor

Gwynedd

LL57 2UW

T: + 44 (0)1248 374528

E: [erammp@ceh.ac.uk](mailto:erammp@ceh.ac.uk)

[www.erammp.cymru](http://www.erammp.cymru)

[www.erammp.wales](http://www.erammp.wales)