



Llywodraeth Cymru
Welsh Government

Rhaglen Dystiolaeth Polisi Pridd 2018-19

**Adolygiad o Arferion Amaethyddol –
Lleihau Allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr**

Cod Rhaglen: SPEP2019-20/01



Adolygiad o Arferion Amaethyddol – Lleihau Allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr

Adroddiad ar Raglen Tystiolaeth Polisi Pridd SPEP2019-20/01

Cyflwynwyd i:

Uned Polisi Pridd a Chynllunio
Defnydd Tir Amaethyddol
Yr Is-adran Tir, Natur a
Choedwigaeth
Yr Adran Materion Gwledig
Llywodraeth Cymru

Paratowyd gan:

Dr Alison Rollett
ADAS Gleadthorpe
Netherfield Lane
Meden Vale
Swydd Nottingham
NG20 9PD

John Williams
ADAS Boxworth
Battlegate Road
Boxworth
Cambridgeshire
CB23 4NN

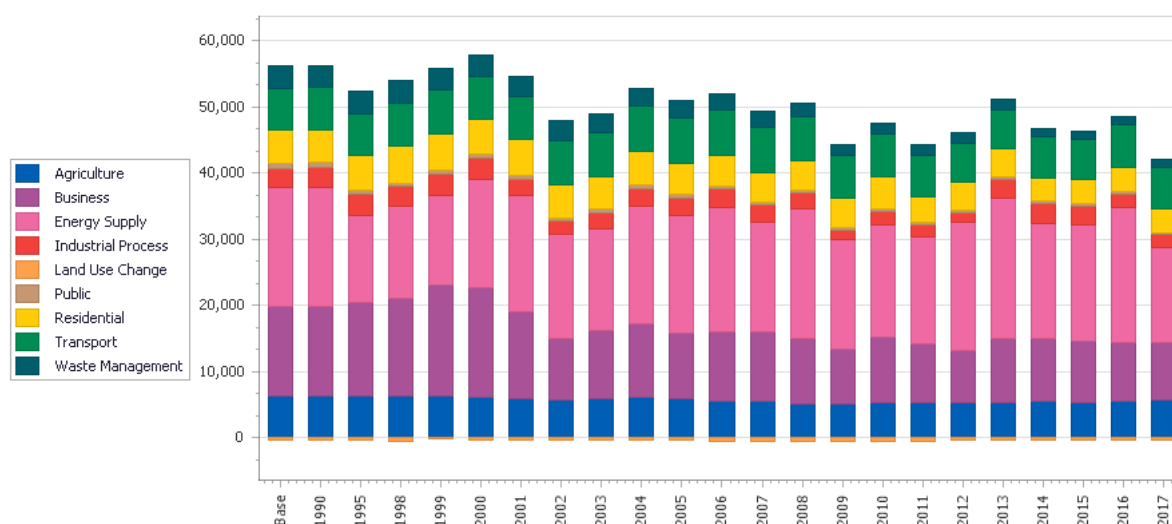
Cynnwys

1	Cyflwyniad.....	1
2	Amcanion	2
3	Targedau ar gyfer allyriadau nwyon tŷ gwydr.....	2
3.1	Newid yn yr hinsawdd	2
4	Dylanwadau newid yn yr hinsawdd ar arferion cynyddio yng Nghymru.....	3
4.1	Cyflwyniad	3
4.1.1	Tywydd eithafol.....	6
4.2	Newidiadau mewn tymheredd a phatrymau glawiad.....	6
4.2.1	Cnydau âr	15
4.2.2	Glaswelltir	15
4.2.3	Lleithder priddoedd (llifogydd a sychder).....	16
4.2.4	Dyddiau capasiti cae	17
5	Lliniaru newid yn yr hinsawdd.....	22
5.1	Deunydd organig yn y pridd o gymharu â charbon organig yn y pridd.....	22
5.2	Dal a storio carbon	22
5.3	Defnydd tir	23
5.3.1	Coetir	25
5.3.2	Mawndir.....	26
6	Glaswelltir yn lliniaru newid yn yr hinsawdd drwy ddal a storio carbon	28
6.1	Glaswelltir.....	28
6.2	Dylanwadau gwaith rheoli ar faint o garbon sy'n cael ei storio mewn glaswelltir	29
6.2.1	Ecwilibriwm carbon	29
6.2.2	Storio carbon mewn glaswelltiroedd	29
6.2.3	Pori a storio carbon	33
6.2.4	Ychwanegiadau o dail organig a gwrtaith a storio carbon.....	34
6.2.5	Calchu a storio carbon	34
7	Lliniaru newid yn yr hinsawdd drwy leihau allyriadau nwyon tŷ gwydr o bridd	36
7.1	Cynllunio rheoli maetholion	38
7.2	Gwella cywirdeb prosesau taenu maethynnau	40
7.3	Atalyddion nitreiddio	40
7.4	Atalyddion wreas	41
7.5	Sicrhau bod mwy o nitrogen ar gael mewn tail	42

8	Arferion amaethyddol presennol, newydd ac arloesol ar gyfer cynyddu cynnwys carbon organig priddoedd amaethyddol sy'n cael eu troi yng Nghymru neu sicrhau bod cyn lleied o gynnwys carbon organig â phosibl yn cael ei golli.	43
8.1	Arferion rheoli presennol ar gyfer deunydd organig yn y pridd mewn systemau â'r 43	
8.1.1	Newid defnydd tir.....	44
8.1.2	Trin tir at ddibenion cadwraeth	44
8.1.3	Mewnbynnau o ddeunydd organig	46
8.1.4	Cnydau gorchudd	46
8.2	Arferion rheoli newydd	47
8.2.1	Amaethgoedwigaeth	47
8.3	Arferion rheoli arloesol	49
8.3.1	Cnydau â'r parhaol	49
8.3.2	Bridio planhigion	51
9	Y prif sbardunau a allai gynyddu tir â'r yn y DU	52
9.1	Y galw am fwyd a thwf poblogaeth.....	52
9.2	Ymadael â'r UE.....	52
9.3	Cnydau ynni a biodanwyddau.....	52
9.4	Cnydau protein a chnydau codlysiau	53
9.5	Cnydau eraill (e.e. cnydau fferyllol neu gnydau ffeibr)	53
9.6	Hunangynhaliath	54
9.7	Newid yn yr hinsawdd.....	54
10	Polisi lliniaru newid yn yr hinsawdd yng Nghymru	55
11	Cyfnwidiadau gwybodaeth er mwyn i reolwyr tir lliniaru newid yn yr hinsawdd.....	55
12	Cyfeiriadau	62

1 Cyflwyniad

- Yn 2017, roedd 85% o arwynebedd tir Cymru yn cael ei ddefnyddio fel ardal amaethyddol (Wiseall, 2018). Nodweddir amaethyddiaeth yng Nghymru yn bennaf gan laswelltir (tir pori parhaol a thir pori garw), sy'n cyfrif am fwy na 70% (1.3 miliwn hectar) o'r ardal a ddefnyddir. Mewn cymhariaeth, mae tir â'r yn cyfrif am 13% (0.25 miliwn hectar) o'r ardal, mae tir pori garw yn cyfrif am 10% (0.18 miliwn hectar) ac mae coetir neu dir arall ar ddaliadau amaethyddol yn cyfrif am y 5% sy'n weddill (Llywodraeth Cymru, 2018a).
- Mae'n debygol mai newid yn yr hinsawdd yn fyd-eang, a achosir gan nwyon tŷ gwydr (carbon deuocsid- CO_2 , methan- CH_4 , ac ocsid nitraidd- N_2O) yn gorfathu'r atmosffer yn anthropogenig, yw her amgylcheddol fwyaf yr unfed ganrif ar hugain. Yn 2017, roedd allyriadau nwyon tŷ gwydr yng Nghymru yn cyfateb i tua 42,000 o gilodunelli cyfwerth â charbon deuocsid ($\text{kt CO}_2\text{-eq}$)¹ (Ffigur 1).
- Roedd amaethyddiaeth yn cyfrif am 12% o allyriadau nwyon tŷ gwydr yng Nghymru yn 2017 (tua 5,500 $\text{kt CO}_2\text{-eq}$). Mae allyriadau methan o systemau da byw yn cyfrif am tua 65%, mae allyriadau ocsid nitraidd o'r defnydd o wrtaith sachau a gweithgarwch rheoli da byw yn cyfrif am tua 20% ac mae gweithgarwch trin priddoedd organig yn cyfrif am tua 5% o allyriadau amaethyddol (NAEI, 2019).
- Yr her i amaethyddiaeth yng Nghymru yw lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr wrth ystyried y cydbwysedd rhwng cynhyrchu bwyd, diogelwch bwyd, defnydd tir a gollwng carbon (h.y. dibyniaeth ar fewnforion sydd, i bob pwrpas, yn allforio allyriadau). Ymhlith yr opsiynau effeithiol i leihau allyriadau nwyon tŷ gwydr o weithgarwch rheoli tir mae rheoli maetholion mor effeithiol â phosibl (e.e. defnydd cynlluniedig ac effeithlon o wrtaith, tail neu atalyddion nitreiddio), a defnyddio'r cylch carbon byd-eang i ddal CO_2 atmosfferig mewn storfeydd hirdymor.



Ffigur 1. Amcangyfrifon blynyddol o allyriadau nwyon tŷ gwydr yng Nghymru²

¹ Mae cyfwerth â charbon deuocsid ($\text{CO}_2\text{-eq}$) yn fesur a ddefnyddir i gymharu'r allyriadau o wahanol nwyon tŷ gwydr ar sail eu potensial cynhesu byd-eang (GWP), drwy droi symiau o nwyon eraill i'r swm cyfatebol o garbon deuocsid sydd â'r un potensial cynhesu byd-eang. Y potensial cynhesu byd-eang ar gyfer methan yw 25 a 298 ar gyfer ocsid nitraidd. Golyga hyn fod 1 miliwn tonnelli fetrig o allyriadau methan ac ocsid nitraidd yn cyfateb, yn y drefn honno, i 25 a 298 miliwn tonnelli fetrig o allyriadau carbon deuocsid.

² <https://statscymru.llyw.cymru/Catalogue/Environment-and-Countryside/Greenhouse-Gas/emissionsofgreenhousegases-by-year>

2 Amcanion

- Mae'r prosiect hwn wedi ystyried yr opsiynau posibl i leihau allyriadau nwyon tŷ gwydr o amaethyddiaeth yng Nghymru. Mae'r adroddiad wedi gwneud y canlynol yn fanwl:
 - o Asesu'r effaith y gallai tywydd eithafol, newidiadau mewn patrymau glawiad a chynnydd mewn tymheredd, a achosir gan newid yn yr hinsawdd, ei chael ar arferion cynyddio yng Nghymru.
 - o Nodi'r rôl y mae glaswelltir yn ei chwarae wrth storio carbon a'r effaith y mae prosesau trin tir yn ei chael ar storio carbon.
 - o Nodi arferion rheoli sy'n lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr o briddoedd amaethyddol.
 - o Nodi ffactorau ysgogi posibl i sicrhau bod mwy o gnydau â'r yn cael eu tyfu yng Nghymru.
 - o Adolygu arferion amaethyddol presennol, newydd ac arloesol ar gyfer lleihau a/neu gynyddu cynnwys carbon organig priddoedd amaethyddol sy'n cael eu troi yng Nghymru.
 - o Darparu trosolwg o'r polisi presennol yng Nghymru a'r gofynion o ran cyfnewid gwybodaeth sy'n ymwneud ag effeithiau newid yn yr hinsawdd ar briddoedd a'r nwyddau cyhoeddus a ddarperir ganddynt.
 - o Nodi sgiliau allweddol sydd eu hangen er mwyn helpu i ddatblygu polisi Llywodraeth Cymru mewn perthynas ag effaith newid yn yr hinsawdd ar systemau cynyddio yng Nghymru.

3 Targedau ar gyfer allyriadau nwyon tŷ gwydr

- Mae gan Lywodraeth Cymru darged cyfreithiol gyfrwysmol i leihau allyriadau nwyon tŷ gwydr 'o leiaf 80%' (o gymharu â'r llinell sylfaen³) erbyn 2050, a bennwyd gan Ddeddf yr Amgylchedd (Cymru). Fodd bynnag, ym mis Mai 2019, cyhoeddodd y Pwyllgor ar Newid Hinsawdd (CCC) 'Net Zero – the UK's contribution to global warming' lle yr argymhellodd y dylai'r DU bennu targed sero net ar gyfer nwyon tŷ gwydr (h.y. gostyngiad o 100% o lefelau 1990).
- Yn achos Cymru, argymhellodd y CCC ostyngiad o 95% mewn allyriadau (o gymharu â lefelau 1990), sy'n adlewyrchu'r 'large share of agriculture emissions in Wales and lower access to suitable sites to store captured carbon dioxide' (CCC, 2019). Ym mis Mehefin 2019, derbyniodd Llywodraeth Cymru argymhelliad y CCC y dylid gostwng allyriadau 95% ond nododd hefyd ei huchelgais i 'gyflwyno targed yng Nghymru i gyrraedd targed net lle bydd allyriadau yn gostwng i sero cyn 2050'⁴. Bydd Llywodraeth Cymru yn cyflwyno rheoliadau i'r Cynulliad yn 2020 i ddiwygio'r targed presennol ar gyfer 2050, a diwygio targedau dros dro a chyllidebau carbon Cymru yn ôl yr angen.

3.1 Newid yn yr hinsawdd

- Yn achos Cymru, roedd y degawd rhwng 2008 a 2017 0.8°C yn gynhesach na'r cyfartaledd ar gyfer 1961-1990 ac mae'r rhan fwyaf o'r blynyddoedd cynhesaf wedi'u cofnodi ers 1990 (Lowe *et al.*, 2018). Mae glaw blynyddol yng Nghymru wedi cynyddu 4% o gymharu â'r cyfartaledd ar gyfer 1961-1990 (Lowe *et al.*, 2018). Mae hefyd yn werth nodi'r gyfres ddiweddar o hafau gwlyb; o'r 10 haf diwethaf rhwng 2008 a 2017, dim ond yn haf 2013 roedd cyfanswm y glaw yn y DU islaw'r cyfartaledd ar gyfer 1981-2010. Felly, mae hafau yn y DU ar gyfer y degawd mwyaf

³ 1990: carbon deuocsid, methan, ocsid nitraidd. 1995: hydrofflorocarbonau, perfflorocarbonau, sylffwr hecsafflŵr, nitrogen triffllŵr.

⁴ <https://llyw.cymru/cymru-yn-derbyn-targed-y-pwyllgor-ar-newid-hinsawdd-o-weld-leihad-o-95-mewn-allyriadau>

diweddar (2008-2017) wedi bod 20% yn wlypach na 1961-1990 a 17% yn wlypach na 1981-2010, ar gyfartaledd (Lowe *et al.*, 2018).

- Mae UKCP18 wedi llunio rhagolygon newydd o'r ffordd y gallai'r hinsawdd newid yn y DU dros y degawdau i ddod (Lowe *et al.*, 2018). Mae'r rhagolygon hinsawdd rhanbarthol yn seiliedig ar bedwar 'Llwybr Crynodiadau Cynrychioliadol'. Mae Llwybrau Crynodiadau Cynrychioliadol yn rhagolygon sy'n ddibynnol ar amser o grynodiadau nwyon tŷ gwydr atmosfferig sy'n seiliedig ar dybiaethau ynghylch gweithgarwch economaidd, twf y boblogaeth, ffynonellau ynni a ffactorau economaidd-gymdeithasol eraill. Mae'r pedwar llwybr crynodiadau cynrychioliadol yn rhychwantu'r ystod o werthoedd newid yn y cydbwysedd ymbelydrol ar gyfer y flwyddyn 2100 a geir yn y llenyddiaeth agored, h.y. o 2.6 i 8.5 watt fesul meter sgwâr (W/m^2):
 1. RCP2.6: crynodiadau isel o grynodiadau nwyon tŷ gwydr, mae'r newid yn y cydbwysedd ymbelydrol yn cyrraedd uchafbwynt ar $3 W/m^2$ tua 2050, ac yn gostwng i $2.6 W/m^2$ erbyn tua 2100.
 2. RCP4.5: mae lefelau nwyon tŷ gwydr yn cyrraedd uchafbwynt tua 2100 ac yn sefydlogi ar ôl hynny. Mae'r newid yn y cydbwysedd ymbelydrol yn cyrraedd uchafbwynt ar $4.5 W/m^2$.
 3. RCP6: mae lefelau nwyon tŷ gwydr yn cyrraedd uchafbwynt tua 2100 ac yn sefydlogi ar ôl hynny. Mae'r newid yn y cydbwysedd ymbelydrol yn cyrraedd uchafbwynt ar $6 W/m^2$.
 4. RCP8.5: mae lefelau nwyon tŷ gwydr yn cynyddu dros amser. Mae'r newid yn y cydbwysedd ymbelydrol yn cyrraedd uchafbwynt ar $8.5 W/m^2$.
- Ar gyfer pob un o senarios y Llwybrau Crynodiadau Cynrychioliadol, mae'r newidiadau disgwyliedig wedi'u modelu ar gyfer y 5ed, y 10fed, y 50fed, y 90fed a'r 95fed ganradd. Y lefel o 50% yw'r newid canolrifol, ac mae'r lefelau o 5% a 95% yn darparu amcangyfrifon isaf ac uchaf o'r ystodau ansicrwydd cysylltiedig. Roedd senarios UKCP18 yn awgrymu y byddai tymheredd yr haf a'r gaeaf yn cynyddu rhwng y 2020au a'r 2080au, gyda chynnydd cymharol tebyg mewn tymheredd yn cael ei gofnodi ym mhob rhan o Gymru. Mae'r rhagolygon ar gyfer y 50^{fed} ganradd yn awgrymu, yn dibynnu ar y senario, y bydd tymereddau cymedrig blyneddol rhwng 1 a $4^{\circ}C$ yn uwch na'r llinell sylfaen (1981-2000) erbyn 2080-2099. Rhagwelir y bydd y tymheredd yn cynyddu rhwng 1 a $3^{\circ}C$ ar gyfer yr haf a rhwng 2 a $5^{\circ}C$ ar gyfer y gaeaf, yn dibynnu ar y senario, erbyn 2080-2099.
- Nid yw senarios y Llwybrau Crynodiadau Cynrychioliadol yn rhagweld newid yng nghyfanswm y glaw ond, yn hytrach, roeddent yn awgrymu y bydd gwahaniaeth yn nosbarthiad tymhorol glawiad, gyda lefelau dyodiad yn gostwng yn yr haf ac yn codi yn y gaeaf ar gyfer pob senario. Yn achos lefelau dyodiad yr haf, roedd y 50fed ganradd yn rhagweld gostyngiadau o 15-19% ar gyfer 2040-2059 a 20-38% ar gyfer 2080-2099 (o gymharu â llinell sylfaen 1981-2000). Mewn cymhariaeth, yn achos lefelau dyodiad y gaeaf, roedd y 50fed ganradd yn rhagweld cynnydd o 5-9% ar gyfer 2040-2059 a 6-23% ar gyfer 2080-2099 (o gymharu â llinell sylfaen 1981-2000).

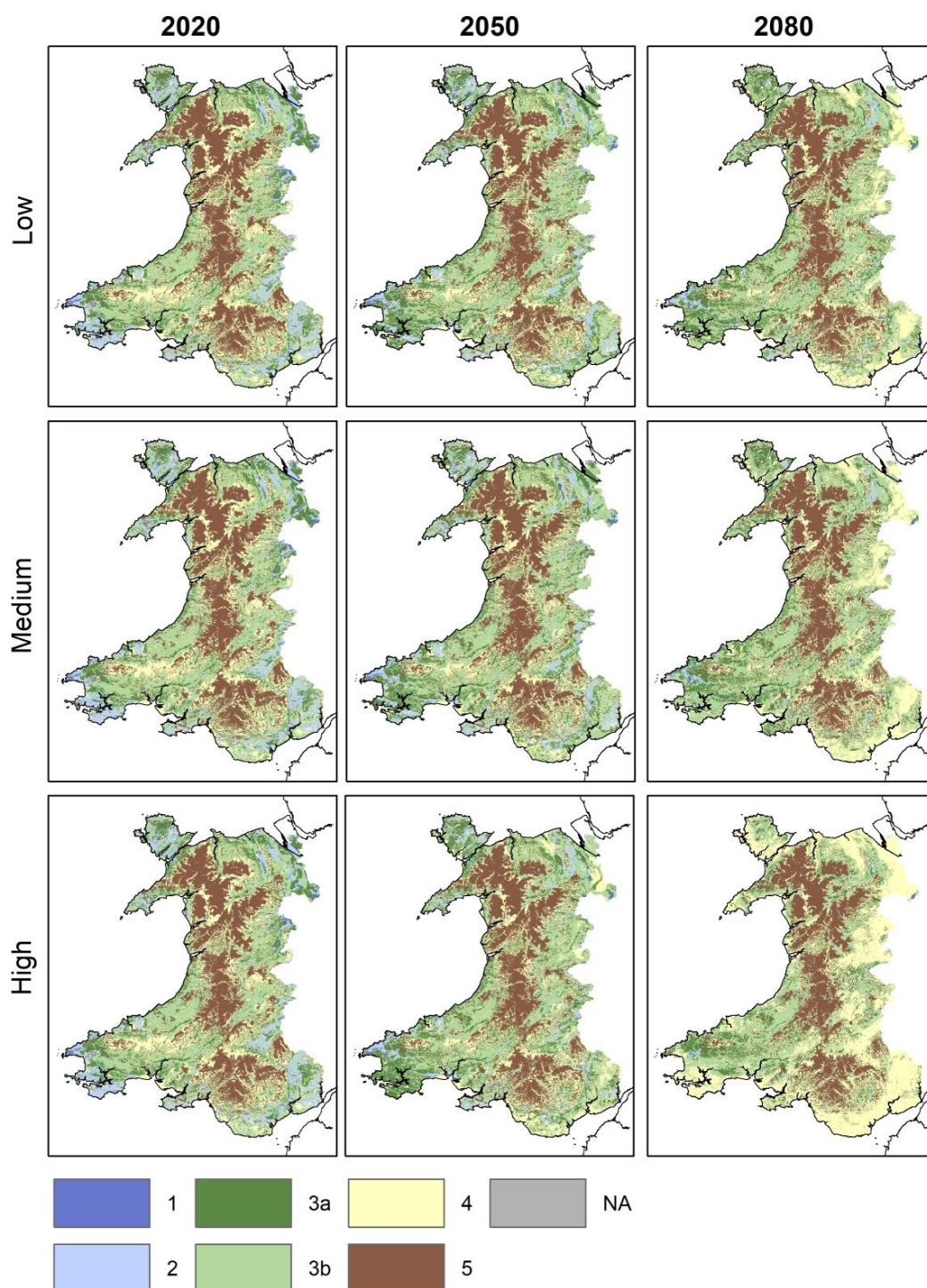
4 Dylanwadau newid yn yr hinsawdd ar arferion cynyddio yng Nghymru

4.1 Cyflwyniad

- Mae tystiolaeth bod gallu bioffisegol y tir i gynnal cynhyrchu amaethyddol wedi newid dros y degawdau diwethaf wrth i'r hinsawdd newid (ASC, 2016). Mae hyd y tymor tyfu wedi cynyddu tua 60 diwrnod gradd, ar gyfartaledd, dros y cyfnod o 87 mlynedd rhwng 1914 a 2000 yn achos Cymru a Lloegr, gyda chynnydd sylweddol yn negawd diwethaf yr 20fed ganrif. Mae tystiolaeth

bod y duedd tuag at dymhorau tyfu hwy a gaeafau mwynach wedi cynnig cyfleoedd i newid i gnydau a heur yn yr hydref (ASC, 2016).

- Mae cnydau a dyfir yn yr awyr agored yn arbennig o sensitif i newid yn yr hinsawdd, yn uniongyrchol o newidiadau mewn patrymau glawiad a thymheredd ac yn anuniongyrchol, am y bydd unrhyw newidiadau yn yr hinsawdd hefyd yn effeithio ar botensial amaethyddol priddoedd drwy newid y cydbwysedd rhwng pridd a dŵr. Mae hyn yn effeithio ar y dŵr sydd ar gael i blanhigion yn ogystal ag arferion rheoli tir eraill (Knox *et al.*, 2010).
- Nid yw senarios UKCIP a drafodwyd yn Adran 3.1 yn rhagweld newid yng nghyfanswm y glaw ond, yn hytrach, maent yn awgrymu y bydd gwahaniaeth yn nosbarthiad tymhorol glawiad, gyda lefelau dyodiad yn gostwng yn yr haf ac yn codi yn y gaeaf ar gyfer pob senario. Fodd bynnag, amrywioldeb blynyddol cynyddol yr hinsawdd ac amllder digwyddiadau eithafol (llifogydd, sychder a thywydd poeth) a fydd yn effeithio ar dyfwyr, nid y newid graddol yn y tymheredd (Knox *et al.*, 2010), er y gallai'r ddau olygu bod angen newid y math o gynhyrchu amaethyddol mewn ardaloedd penodol.
- Mae Prifysgol Cranfield (2019) wedi cymhwyso trefn rhyngosod hinsawdd y Dosbarthiad Tir Amaethyddol (DTA) at senarios UKCP18 er mwyn llunio mapiau ar gyfer cyfartaledd glaw blynyddol, cyfartaledd glaw yr haf, canolrif hyd dyddiau capasiti cae a chanolrif tymheredd cronedig uwch na 0°C o Ionawr i Fehefin (AT0). Ar gyfer pob paramedr sy'n cael ei fapio, dangosir data ar gyfer 2020, 2050 a 2080 ar gyfer senarios allyriadau isel, canolig ac uchel.
- Mae Prifysgol Cranfield hefyd wedi edrych ar y newid yng ngradd y Dosbarthiad Tir Amaethyddol sy'n deillio o'r newidiadau ym mharamedrau'r hinsawdd. Mae'r newidiadau a ragwelir yn awgrymu y bydd swm y tir gradd 1 a gradd 2 o dan y Dosbarthiad Tir Amaethyddol yn gostwng o dan bob senario cyfnod amser/allyriadau, gyda gostyngiad cychwynnol i radd 3a/3b y Dosbarthiad Tir Amaethyddol erbyn 2050 ac, mewn rhai ardaloedd, ostyngiad pellach i radd 4 y Dosbarthiad Tir Amaethyddol erbyn 2080 (Ffigur 2). Mae'r senarios allyriadau canolig ac uchel hefyd yn awgrymu y caiff rhywfaint o dir, sydd â gradd 3a/3b y Dosbarthiad Tir Amaethyddol ar hyn o bryd, ei israddio i radd 4 y Dosbarthiad Tir Amaethyddol erbyn 2080, yn enwedig yn y senario allyriadau uchel.



Ffigur 2. Categori'r Dosbarthiad Tir Amaethyddol ar gyfer senarios allyriadau isel, canolig UKCP18 2020, 2050 a 2080.

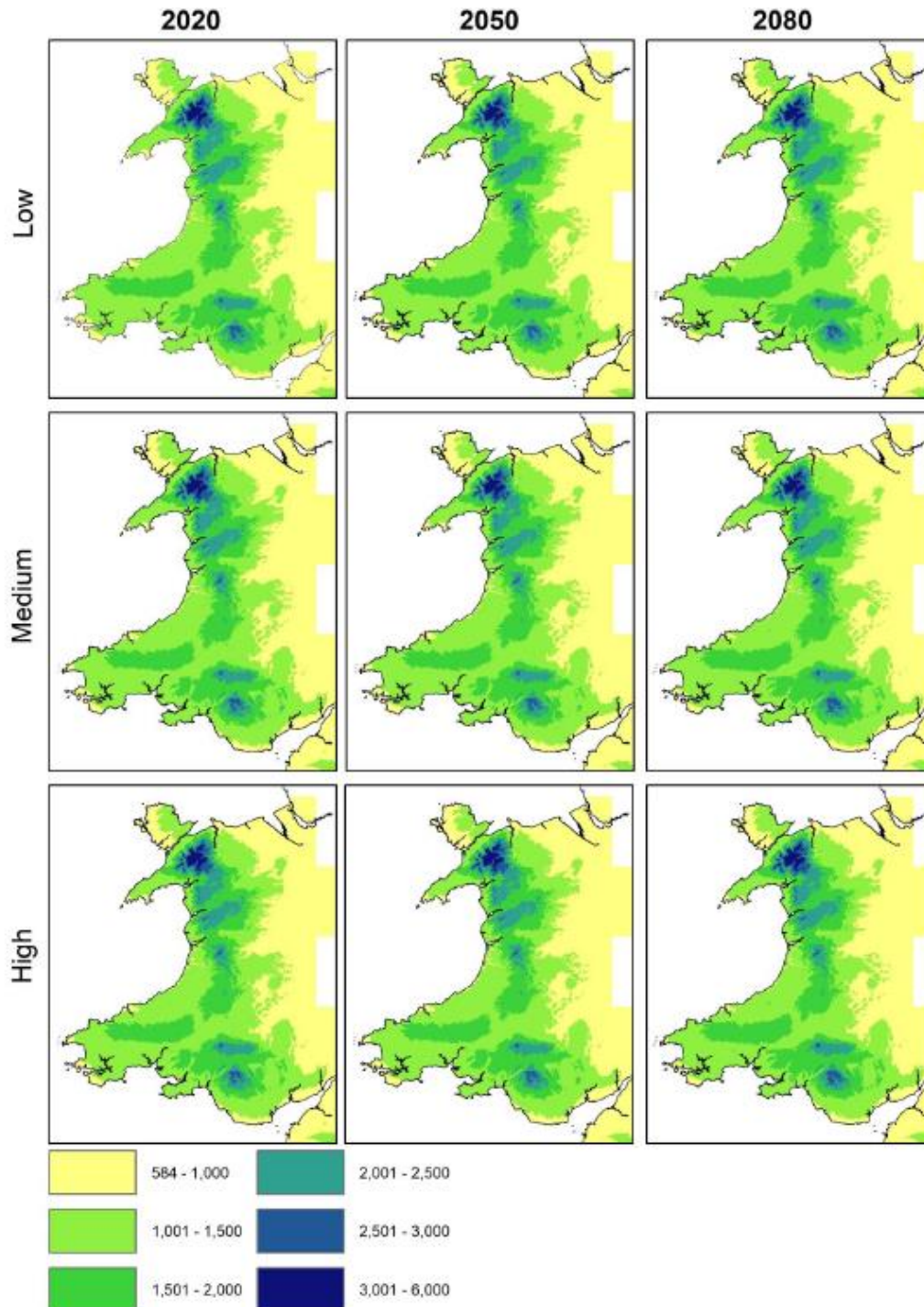
4.1.1 Tywydd eithafol

- Diffinnir digwyddiadau tywydd eithafol fel newidiadau anarferol, difrifol neu annhymhorol mewn patrymau tywydd a all ddigwydd dros gyfnodau o amser mor fyr ag oriau ac maent yn cynnwys sychder, tywydd poeth, llifogydd a stormydd (ADAS a Phrifysgol Leeds, 2013). Fel arfer, byddent yn digwydd <5% o'r amser ac maent yn llawer llai rhagweladwy na newid yn yr hinsawdd. Gellir priodoli'r nifer cynyddol o ddigwyddiadau eithafol i newid anthropogenig yn yr hinsawdd (IPCC, 2012) a chydabyddir bod nifer y digwyddiadau eithafol yn debygol o gynyddu yn y dyfodol a'u bod yn peri risg gynyddol.
- Mae'r IPCC (2012) wedi dod i'r casgliad ei bod yn 'debygol iawn' (tebygolrwydd o 90-100%) y bydd hyd cyfnodau o dywydd cynnes neu dywydd poeth yn cynyddu dros y rhan fwyaf o ardaloedd o dir erbyn diwedd yr 21ain ganrif. Dengys hyn y bydd digwyddiadau tywydd eithafol a welir ar hyn o bryd ac a welwyd yn y gorffennol yn para'n hwy erbyn y 2050au a gallai digwyddiadau eithafol sy'n para am fisoedd neu flynyddoedd yn hytrach na diwrnodau ddod yn fwy cyffredin.
- Mae tywydd eithafol (e.e. cyfnodau estynedig o law dwys) a newidiadau o ran defnydd tir/patrymau cynyddio sy'n gysylltiedig â newid yn yr hinsawdd (e.e. aredig mwy o laswelltir parhaol) yn ffactorau a allai gynyddu cyfraddau erydu pridd yn y dyfodol.
- Darperir enghraifft ddiweddar o'r effeithiau economaidd y mae digwyddiadau eithafol yn eu cael ar amaethyddiaeth gan ADAS (2014), a ymchwiliodd i effeithiau'r llifogydd a gafwyd yn ystod gaeaf 2014, pan achosodd cyfres o ddigwyddiadau glaw eithriadol lifogydd helaeth yng Ngwlad yr Haf, Dyffryn Hafren a Dyffryn Tafwys. Effeithiodd y llifogydd ar y sector amaethyddol drwy ddifrodi cynydau sefydledig neu beri i gnydau sefydledig gael eu colli (porfa a chnydau â'r heuir yn y gaeaf), drwy ei gwneud yn amhosibl mynd ar dir i reoli cynydau neu hau cynydau newydd a difrodi cynydau wedi'u storio a stociau porthiant a thrwy gostau symud a/neu fwydo da byw, difrod i seilwaith a chostau yn gysylltiedig â'r ymgyrch glanhau. Amcangyfrifwyd mai cyfanswm y difrod a achoswyd gan lifogydd oedd £20.9 miliwn, sy'n cyfateb i £470 fesul hectar (ADAS, 2014).

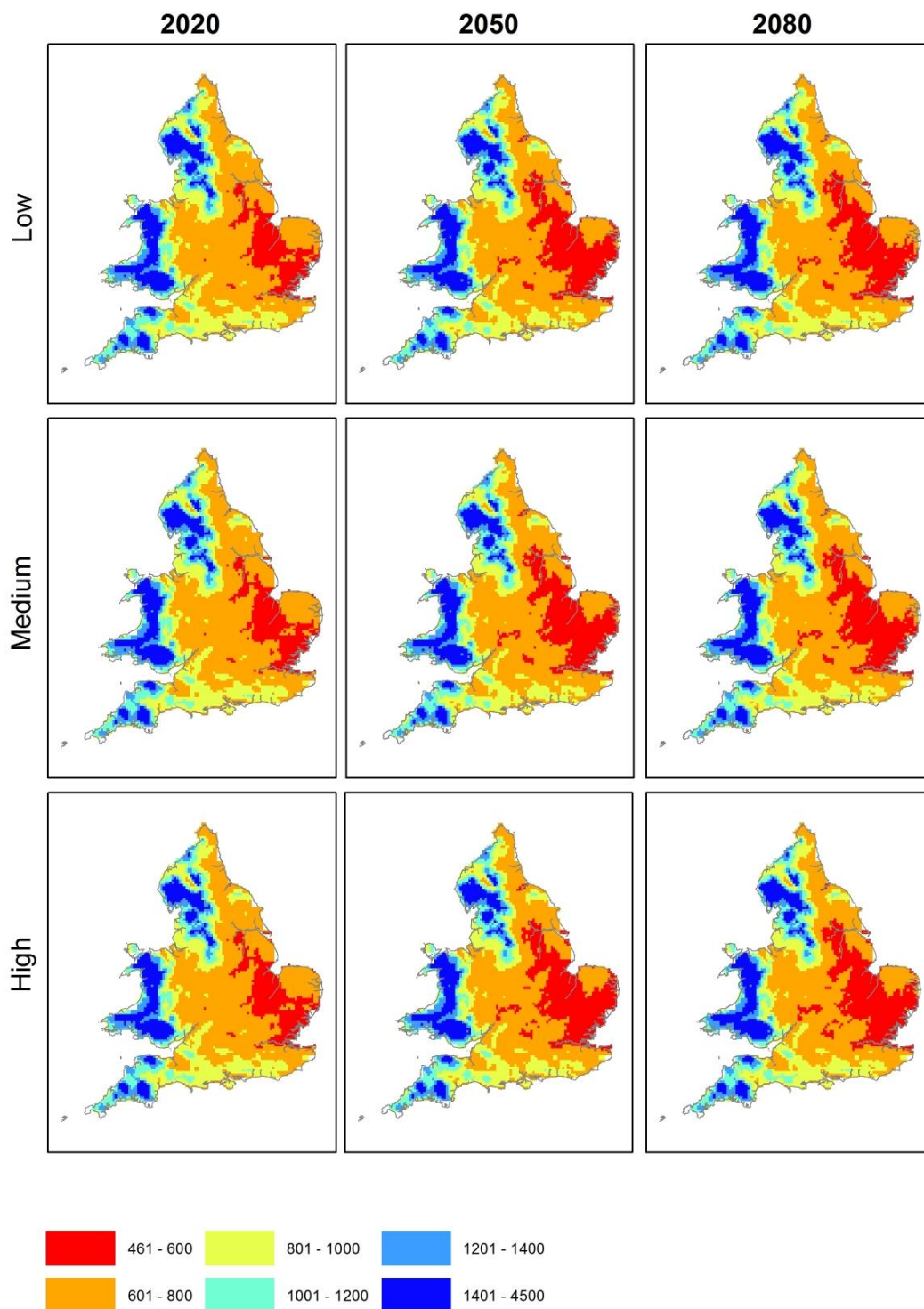
4.2 Newidiadau mewn tymheredd a phatrymau glawiad

- Ar gyfer cyfartaledd glaw blynyddol, mae rhagfynegiadau yn awgrymu na fydd fawr ddim newid amlwg yn nosbarthiad na lefelau glawiad yng Nghymru ar gyfer yr un o'r cyfuniadau o senarios cyfnod amser/allyriadau (Ffigur 3). Fodd bynnag, mae dosbarthiad glawiad yn newid rhwng tymhorau. Ceir mwy o law yn ystod y gaeaf a llai o law yn ystod misoedd yr haf rhwng 2020 a 2080 ar gyfer pob senario allyriadau. Yn yr un modd, yn achos Lloegr, nid oes fawr ddim newid yn y cyfartaledd glaw blynyddol ar gyfer yr un o'r cyfuniadau o senarios cyfnod amser/allyriadau (Ffigur 4). Mewn cymhariaeth, ar gyfer glaw'r haf yng Nghymru, mae gostyngiad amlwg mewn lefelau glaw rhwng cyfnodau amser ond nid oes fawr ddim gwahaniaeth rhwng senarios allyriadau isel, canolig ac uchel (Ffigur 5). Yn ne a dwyrain Cymru y ceir y gostyngiadau mwyaf nodedig yng nglaw'r haf, er enghraifft yn y senario canolig, gostyngodd y cyfartaledd glaw blynyddol yn Nhorfaen 77mm o 527mm yn 2020 i 450mm yn 2050 ac yn Rhondda Cynon Taf gostyngodd 85mm o 687mm yn 2020 i 602mm yn 2050 (Ffigur 6). Mae gostyngiad yn y cyfartaledd glaw blynyddol ar gyfer Lloegr hefyd yn cael ei nodi dros amser ond, yn unol â'r rhagfynegiadau ar gyfer Cymru, nid oes fawr ddim gwahaniaeth rhwng senarios allyriadau isel, canolig ac uchel (Ffigur 7).
- Erbyn 2050, dengys y mapiau rhagfynegi gynydd amlwg yn y tymheredd cronedig uwchlaw 0°C ar gyfer y senarios allyriadau isel, canolig ac uchel, yn enwedig yn ne-ddwyrain y wlad (Ffigur 8). Er enghraifft, yn y senario canolig, mae'r AT0 ar gyfer Sir Fynwy yn cynyddu 108°C, o 1,516°C yn

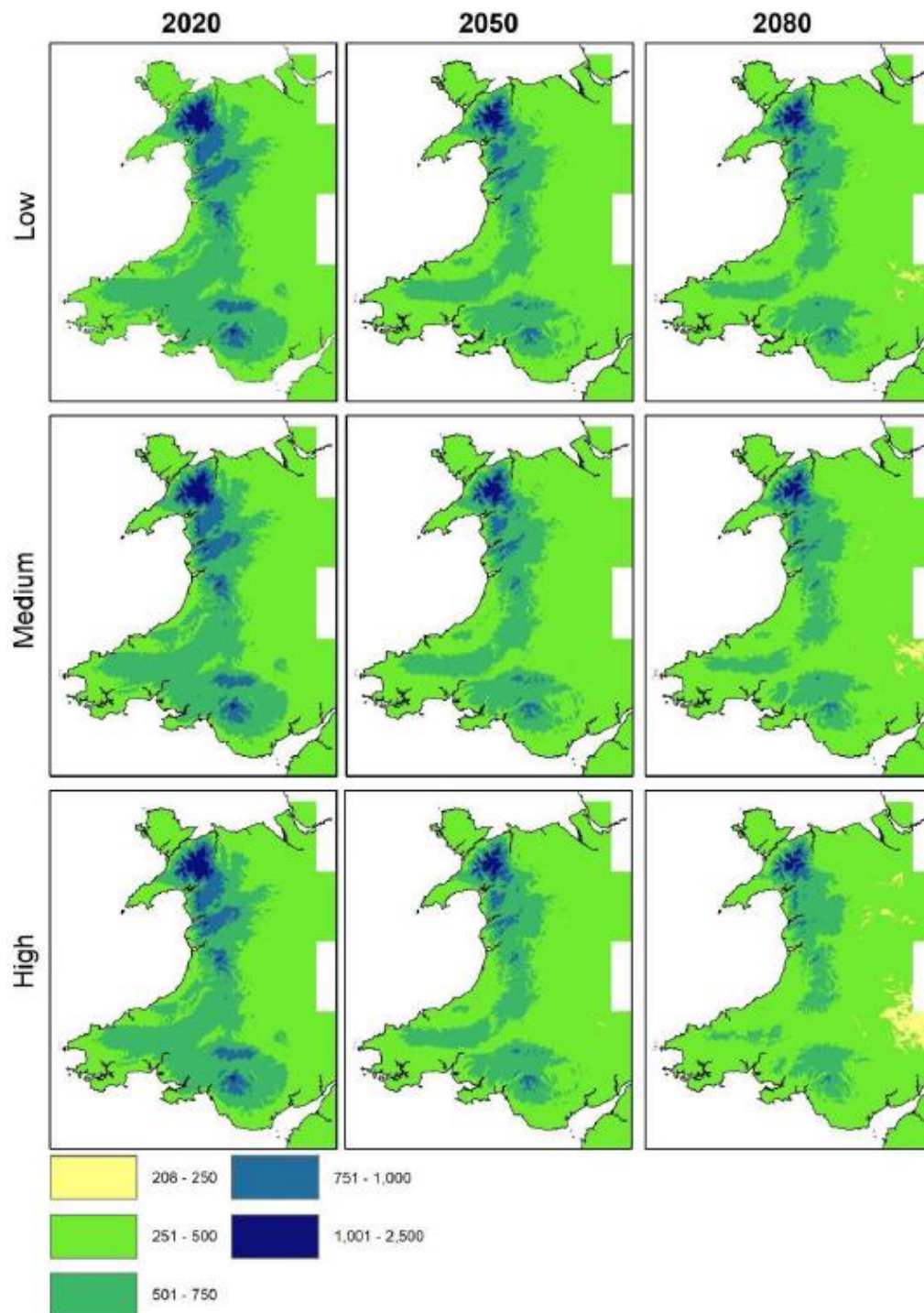
2020 i 1,624°C yn 2050 ac ar gyfer Torfaen mae'n cynyddu 108°C, o 1,353°C yn 2020 i 1,461°C yn 2050 (Ffigur 9). Yn unol â rhagfynegiadau UKCP18, erbyn 2080, rhagwelir y bydd y tymheredd cronedig yn cynyddu ymhellach ac mae gwahaniaeth amlwg yn y senarios allyriadau isel, canolig ac uchel, gyda'r olaf yn rhagweld y cynnydd mwyaf yn AT0 ar gyfer Cymru a Lloegr (Ffigur 10).



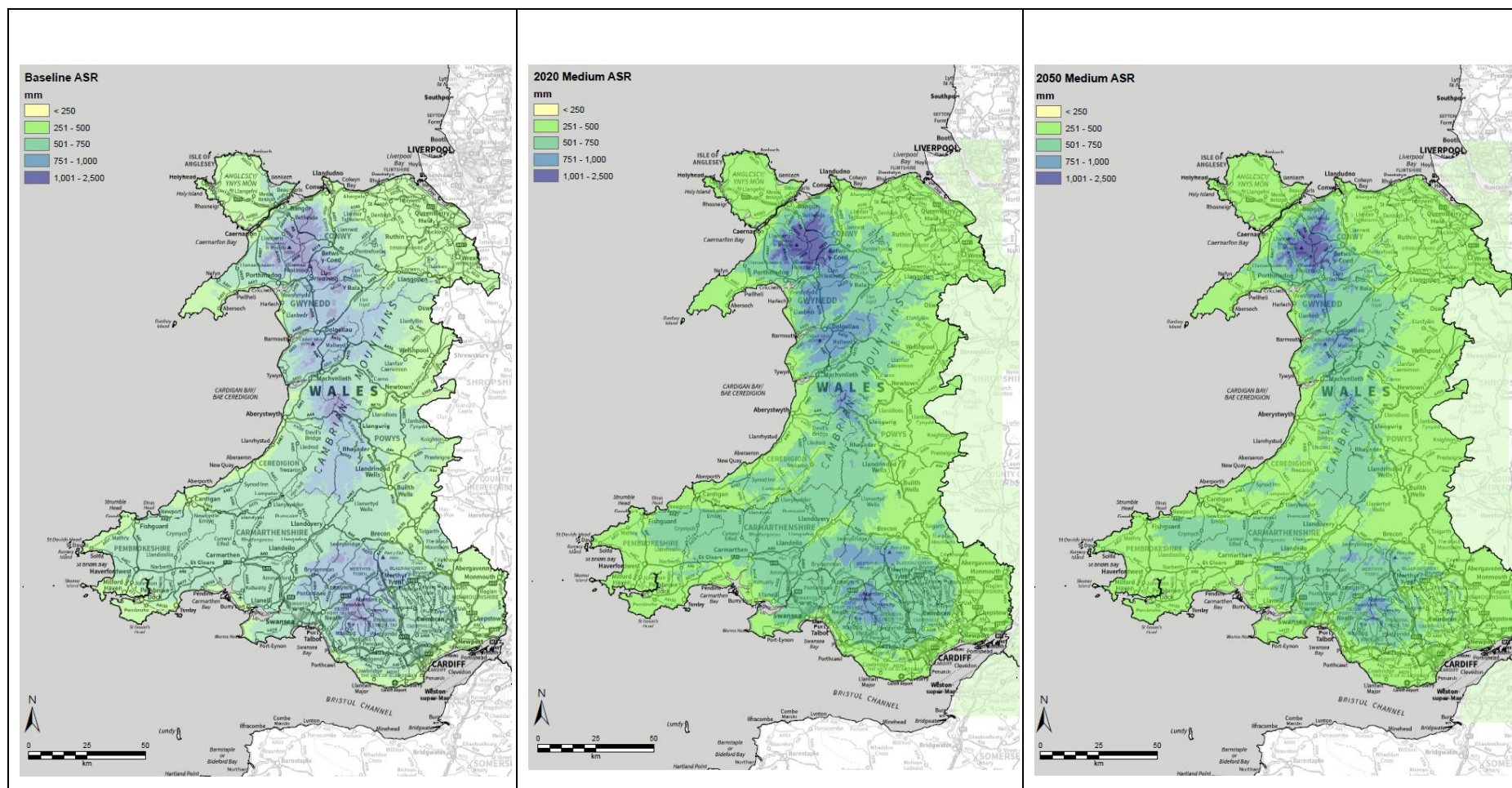
Ffigur 3. Cyfartaledd glaw blyneddol (mm) ar gyfer senarios isel, canolig ac uchel UKCP18 2020, 2050 a 2080 ar gyfer Cymru



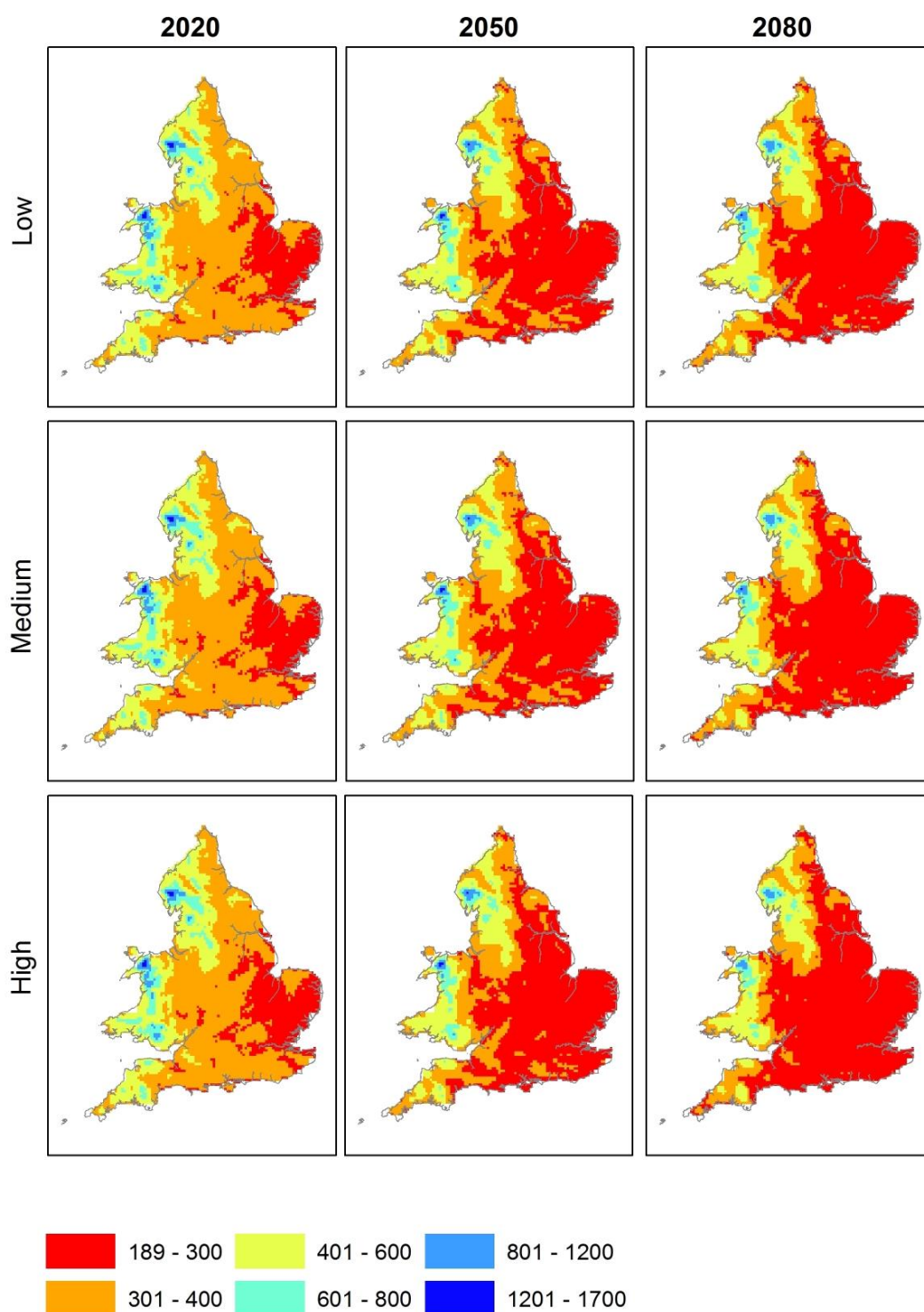
Ffigur 4. Cyfartaledd glaw blynnyddol (mm) ar gyfer senarios isel, canolig ac uchel UKCP18 2020, 2050 a 2080 ar gyfer Cymru a Lloegr



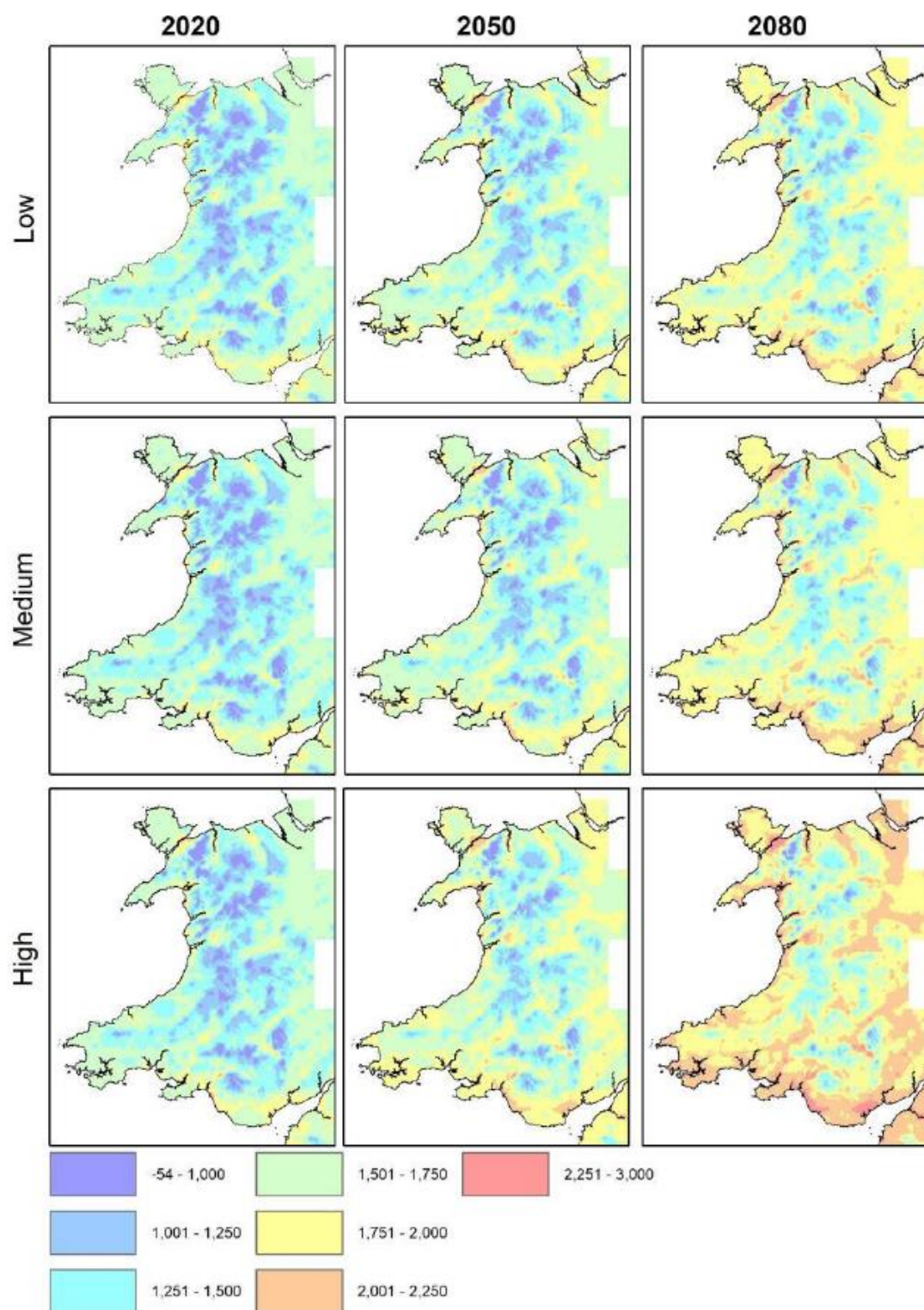
Ffigur 5. Cyfartaledd glaw yr haf (mm) rhwng mis Ebrill a Mis Medi ar gyfer senarios isel, canolig ac uchel UKCP18 2020, 2050 a 2080 ar gyfer Cymru.



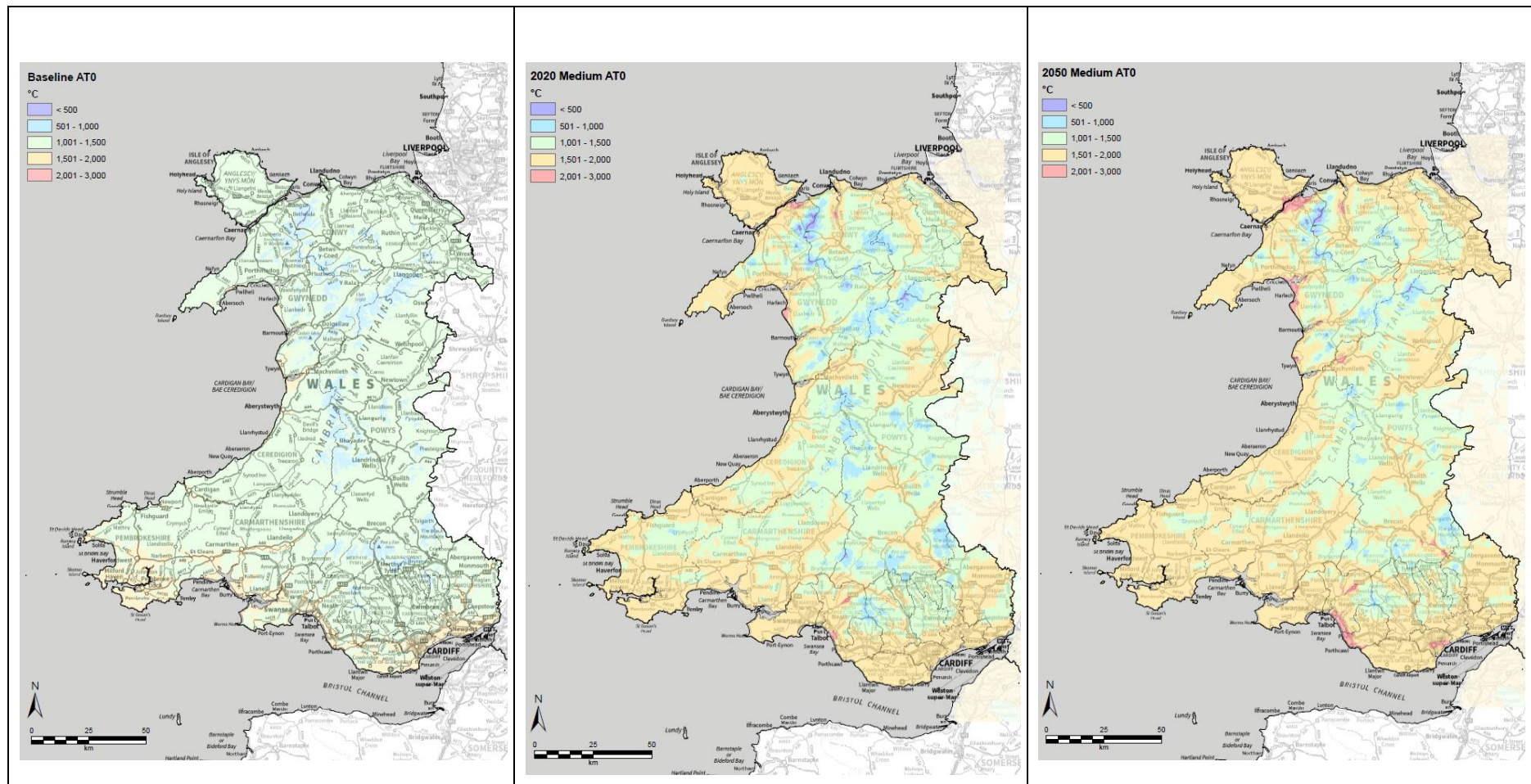
Ffigur 6. Cyfartaledd glaw yr haf (mm) rhwng mis Ebrill a Mis Medi ar gyfer y llinell sylfaen ar gyfer senarios canolog UKCP18 2020 a 2050 ar gyfer Cymru.



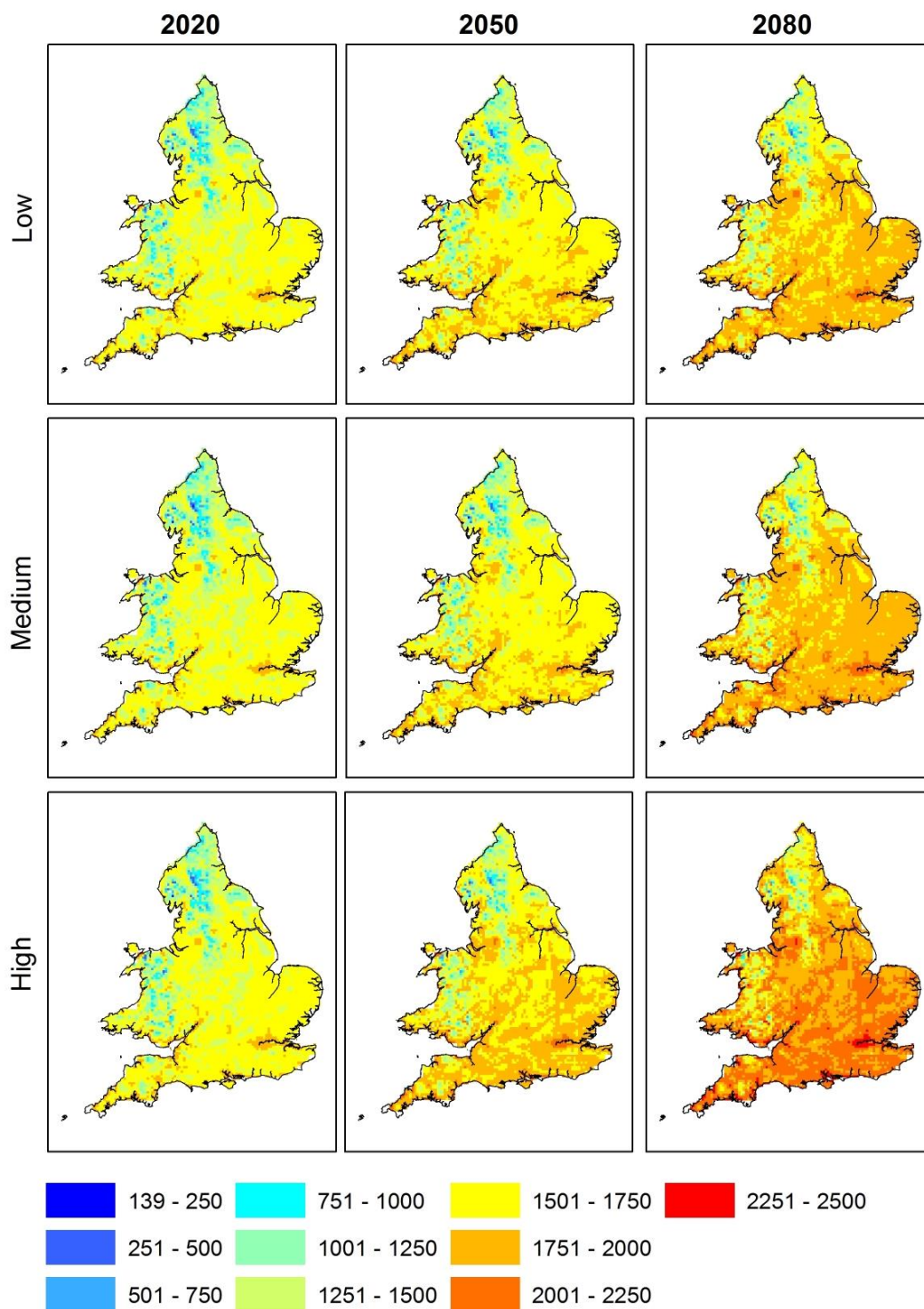
Ffigur 7. Cyfartaledd glaw yr haf (mm) rhwng mis Ebrill a Mis Medi ar gyfer senarios isel, canolig ac uchel UKCP18 2020, 2050 a 2080 ar gyfer Cymru a Lloegr



Ffigur 8. Canolrif tymheredd cronedig uwch na 0°C o Ionawr i Fehefin ar gyfer senarios isel, canolig ac uchel UKCP18 2020, 2050 a 2080 ar gyfer Cymru.



Ffigur 9. Canolrif tymheredd cronedig uwch na 0°C o Ionawr i Fehefin ar gyfer y llinell sylfaen, senarios canolog UKCP18 2020 a 2050 ar gyfer Cymru



Ffigur 10. Canolrif tymheredd cronedig uwch na 0°C o Ionawr i Fehefin ar gyfer senarios isel, canolig ac uchel UKCP18 2020, 2050 a 2080 ar gyfer Cymru a Lloegr.

4.2.1 Cnydau âr

- Gallai cynnydd mewn tymheredd ac ymbelydredd, ynghyd â lefelau uwch o CO₂, gynyddu cynnyrch cnydau, ond dim i bwynt lle nad yw ffactorau rheoli eraill, gan gynnwys argaeledd dŵr a maetholion, yn gyfyngol. Mae arbrofion mewn siambrau amgaeedig gyda lefelau uwch o garbon deuocsid wedi dangos ymatebion cadarnhaol o ran cynnyrch cnydau. Dangosodd gwaith a wnaed gan Hatfield *et al.*, (2011) fod dyblu crynodiadau CO₂, fel arfer, yn cynyddu cynnyrch atgynhyrchiol cnydau megis ydau a glaswellt tua 30% a gwelwyd ymatebion cynnyrch bach o lai na 10% ar gyfer indrawn a chnydau llysieuol. Fodd bynnag, mae'n debygol bod y rhagolygon ar gyfer amrywiad tymhorol cynyddol mewn patrymau glawiad a newidiadau canlyniadol mewn cydbwyseddau lleithder, yn debygol o wrthbwysu unrhyw effeithiau cadarnhau a gaiff cynyddu crynodiadau CO₂ ar dwf planhigion.
- Mae rhywogaethau cnydau yn ymateb yn wahanol i dymheredd drwy gydol eu cylchoedd oes. Mae gan bob rhywogaeth ystod benodol o dymhereddau uchaf ac isaf pan fyddant yn tyfu a thymheredd gorau posibl pan fydd y planhigion yn tyfu gyflymaf (Hatfield *et al.*, 2011). Gall tymhereddau uchel yn yr haf effeithio ar ddatblygiad atgynhyrchiol (blodau) y gellir amharu arno mewn rhai cnydau âr a garddwriaethol (Semenov, 2009). Gall camau addasu gynnwys cyflwyno amrywogaethau cnydau newydd a all wrthsefyll straen gwres yn well.
- Mae newidiadau mewn tymheredd a phatrymau glawiad yn debygol o effeithio ar gynyddu ac ansawdd cnydau a gallent effeithio ar ymarferoldeb cnydau presennol a fwydir gan law a chreu cyfleoedd i fathau newydd o gnydau (Knox *et al.*, 2010).
- Mae'r hinsawdd sy'n cynhesu yn darparu ar gyfer ehangu tir ar gyfer amaethyddiaeth yng Nghymru, o bosibl. Gallai llawer o ardaloedd sy'n rhai ymylol ar gyfer amaethu ar hyn o bryd oherwydd cyfyngiadau hinsoddol weld gwelliant o ran gallu tir. Fodd bynnag, efallai y bydd cyfyngiadau hefyd ar gynhyrchiant amaethyddol yn y dyfodol oherwydd craster cynyddol priddoedd mewn rhai lleoliadau. Ar y cyfan, rhagamcenir y bydd arwynebedd y tir amaethyddol Gorau a Mwyaf Amlbwrpas (Graddau 1 i 3a) yng Nghymru a Lloegr yn lleihau o 37% ar hyn o bryd i 7% yn y 2080au (y senario allyriadau uchel) oherwydd craster a sychder cynyddol (ASC, 2016). Dros yr un cyfnod, rhagamcenir y bydd arwynebedd tir Gradd 4 yn cynyddu 2% i bron 66% (ASC, 2016). Mewn cymhariaeth, yn achos Cymru, rhagamcenir y bydd arwynebedd y tir Gorau a Mwyaf Amlbwrpas yn lleihau o 20% i 18%, 16% neu 9% erbyn 2020 o dan y senarios allyriadau isel, canolig ac uchel, yn y drefn honno. Erbyn 2080, rhagamcenir y bydd arwynebedd tir Gradd 4 yng Nghymru yn debyg i'r llinell sylfaen o dan y senario allyriadau isel a chanolig, ond y bydd yn cynyddu i 39% o dan y senario allyriadau uchel (Keay and Hannam, 2020).
- Byddai tuedd ragamcanol tuag at hafau sychach a chynhesach yn cynyddu'r risg o straen gwres mewn cnydau sensitif (e.e. gwenith gaeaf) ac yn lleihau potensial cynhyrchu'r cnydau hynny y mae angen llawer o ddŵr arnynt (e.e. tatws). Mae'n bosibl y bydd hafau sychach a chynhesach a thymhereddau cymedrig uwch yn y gaeaf hefyd yn fuddiol i rai cnydau (e.e. indrawn sy'n sensitif i rew). Byddai tymhereddau cynhesach yn cynyddu'r tebygolrwydd y caiff cnydau sy'n agored i ddifrod (er enghraifft gwenith a chnydau salad) eu difrodi ar dymhereddau eithafol. Mae Knox *et al.* (2010), yn awgrymu y gallai tymor tyfu hwy arwain at dyfu mwy o gnydau cyfandirol megis blodau'r haul, ffa gwynion ('navy beans'), soia, bysedd y blaidd a gwinwydd.

4.2.2 Glaswelltir

- Mae patrwm glawiad sy'n newid (h.y. gaeafau gwlypach a hafau sychach) yn debygol o effeithio ar gynhyrchiant glaswelltir. Cyfyngir ar dwf glaswellt gan sychder ac mae hafau sychach yn debygol o gyfyngu ar dwf glaswellt yn arbennig ar briddoedd lle nad oes llawer o ddŵr ar gael yn y pridd yn ystod misoedd yr haf (St. Clair *et al.*, 2009). Gall sychder hefyd gynyddu'r risg y

bydd tanau gwyllt yn effeithio ar ardaloedd helaeth o dir pori. Ar y llaw arall, gallai gaeafau gwlypach arwain at dir dwrlawn a fyddai'n cynyddu'r risg y byddai pridd yn cael ei ddifrodi gan dda byw yn sathru arno, sy'n golygu y byddai llai o gyfleoedd i bori anifeiliaid dros y gaeaf (Thomas *et al.*, 2010).

- Mae glaswellt yn dechrau tyfu uwchlaw isafswm tymheredd (5.5°C) ac fe'i hysgogir gan dywydd cynhesach, ar yr amod bod digon o leithder yn y pridd. Bydd tymereddau cynhesach yn cynyddu hyd y tymor pori (IGER, 2003) gyda glaswellt yn dechrau cael ei gynhyrchu yn gynnar yn y gwanwyn ac yn parhau'n ddiweddarach yn yr hydref (Thomas *et al.*, 2010). Fodd bynnag, wrth i gynnyrch glaswellt wella gyda thywydd cynhesach, mae hefyd yn agored i lefelau is o leithder sydd ar gael yn y pridd yn ystod sychder (Brown *et al.*, 2016).
- Mae astudiaethau wedi dangos y gall ecosystemau glaswelltiroedd addasu i ddigwyddiadau eithafol (Vicente-Serrano *et al.*, 2012) gan gynnwys addasiadau ffisiolegol er mwyn goresgyn yr heriau sy'n gysylltiedig â straen sychder (Craine *et al.*, 2013) a thanau gwyllt (Bond *et al.*, 2005, Bond and Keeley 2005, Nano a Clarke, 2011). Gall hyn gyfyngu ar yr effaith y mae newid yn yr hinsawdd yn ei chael ar laswelltiroedd ac mae nifer o awduron wedi nodi na ragwelir y bydd newid yn yr hinsawdd yn cael fawr ddim effaith ar gynnyrch deunydd sych. Er enghraifft, rhagwelodd y model a ddefnyddiwyd gan Qi *et al.* (2018), erbyn 2050, y bydd cynnyrch o dan senario allyriadau canolog 2050 yn cynyddu i 15.5 a 9.9 t/ha ar laswelltir dros dro a pharhaol, yn y drefn honno (o 12.5 ac 8.7 t/ha) ac na ragwelwyd unrhyw newid sylweddol yng nghynnyrch glaswelltir garw (2.8-2.7 t/ha). Fodd bynnag, bydd unrhyw gynnydd yng nghynnyrch deunydd sych yn dibynnu ar ffactorau eraill sy'n rhyngweithio â'i gilydd (Daeppe *et al.*, 2001), cynhyrchiant dŵr a straen dŵr ar briddoedd (Deryng *et al.*, 2016).
- Ar adeg ysgrifennu'r adroddiad hwn, mae Rhaglen Tystiolaeth Polisi Pridd Llywodraeth Cymru wedi comisiynu adolygiad o'r gofynion bioffisegol ar gyfer glaswellt penodol a rhywogaethau meillion a gwaith i ddatblygu adnodd mapio gofodol sy'n cysylltu dosbarthiadau twf glaswellt RB209 â data hinsoddol UKCP18 a gynhyrchwyd gan y Dosbarthiad Tir Amaethyddol a map eiddo priddoedd Priddoedd Cymru. Bydd yr adolygiad hwn ar gael o dan god adroddiad SPEP2020-21/01.

4.2.3 Lleithder priddoedd (llyfogydd a sychder)

- Yng Nghymru, mae straen dŵr a achosir gan ddiffyg glaw yn llai o risg mewn rhanbarthau sychach eraill o'r DU (ASC, 2016). Fodd bynnag, mae rhagfynegiadau hinsawdd yn awgrymu y gallai straen dŵr yn nwyrain Lloegr wneud gweithgarwch cynhyrchu cnydau garddwriaethol gwerth uchel yn anghynaliadwy yng Nghymru (ADAS *et al.*, 2014).
- Pan fo risg y bydd sychder yn yr haf, mae'n debygol y daw dyfrhau yn fwyfwy pwysig er mwyn cynnal cynnyrch, yn achos cnydau sy'n cael eu dyfrhau ar hyn o bryd a chnydau eraill sy'n cael eu bwydo â llaw ar hyn o bryd megis gwenith. Bydd defnydd cynyddol o ddyfrhau yn gofyn am fuddsoddi mewn cyfleusterau storio dŵr ar y fferm (e.e. cronfeydd dŵr a thanciau storio) er mwyn cynaeafu glaw'r gaeaf neu dynnu dŵr mewn cyfnodau o alw brig (ADAS *et al.*, 2014).
- Rhagwelir y bydd arwynebedd y tir Gorau a Mwyaf Amlbwrpas lle mae risg o 1 mewn 75 mlynedd o bob ffynhonnell o lifogydd yn cynyddu 35% erbyn 2050au (i 15% o'r tir Gorau a Mwyaf Amlbwrpas, tua 24,000 ha) os yw tymereddau cymedrig ledled y byd ar y trywydd i gynyddu 4°C (yn seiliedig ar ystod uchaf senario allyriadau canolog Rhagolygon Hinsawdd y DU 2009) erbyn diwedd y ganrif (ASC, 2016).
- Mae gan lifogydd, ar yr arfordir ac ar dir mewndirol, y potensial i achosi dwrlawnder cnydau, yn dibynnu ar allu'r cnwd i wrthsefyll lifogydd. Achosir dwrlawnder pan fydd mandyllau ym matrices y pridd yn llawn dŵr ac, fel arfer, mae'n arwain at briddoedd anocsig (anerobig). O fewn 48 awr, mae planhigion yn dechrau dioddef o ddiffyg ocsigen, sy'n achosi gostyngiad sylweddol

mewn cyfraddau derbyn maethynnau, sy'n atal planhigion rhag tyfu ar wyneb y ddaear ac oddi tani. Mewn achosion mwy eithafol pan fo priddoedd yn gyfan gwbl o dan ddŵr am gyfnodau hir, mae llai o garbon deuocsid, golau ac ocsigen ar gael, sy'n lleihau cyfraddau ffotosyntheseiddio a resbiradu sydd, yn y pen draw, yn achosi i lawer o rywogaethau cynydau farw (Jackson a Colmer, 2005) ac yn arwain at golled ariannol sylweddol i ffermwyr (Posthumus *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2016).

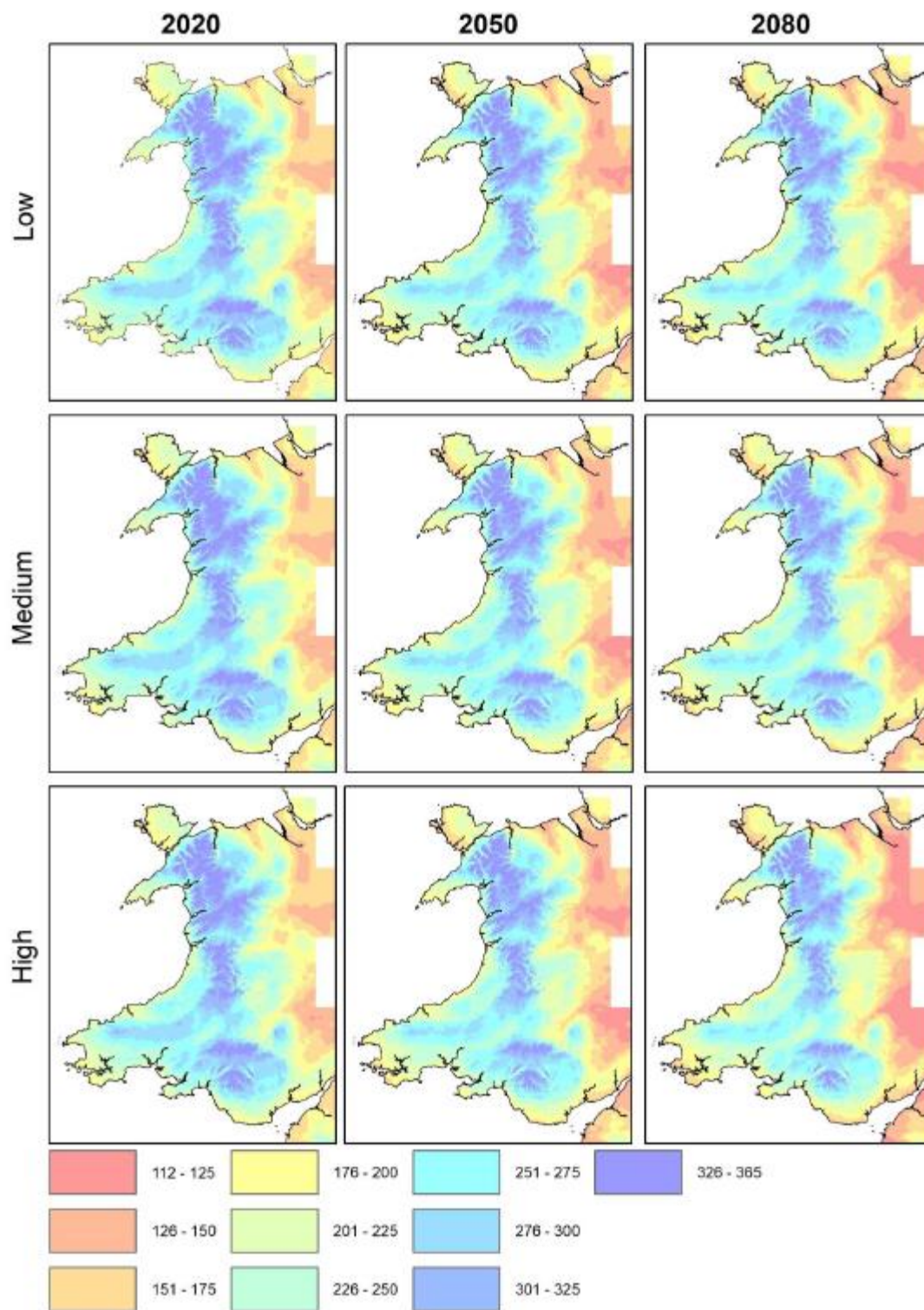
- Ni all peirianwaith fynd ar briddoedd dan ddŵr a bydd hyn yn effeithio ar weithrediadau rheoli cynydau a phriddoedd. Gall defnyddio peirianwaith trwm ar briddoedd llawn dŵr neu bori da byw arnynt hefyd achosi difrod hirdymor i strwythur priddoedd a all leihau cyfraddau ymdreiddio dŵr sy'n cynyddu lefelau dŵr ffo a'r risg o erydu pridd. Os bydd tir yn arbennig o agored i lifogydd mae gwahanol fesurau addasu y gellir eu rhoi ar waith. Gallai hyn gynnwys gosod amddiffynfeydd rhag llifogydd, cynlluniau draenio caeau neu newid i gnydau sy'n llai agored i gael eu difrodi gan lifogydd (e.e. o gnydau â'r i laswellt).
- Mae amseriad llifogydd hefyd yn bwysig mewn perthynas â chnydio. Os bydd tir yn llawn dŵr ar adeg plannu cynydau (yn yr hydref neu'r gwanwyn yn dibynnu ar y math o gnwd), gall amharu ar y broses o sefydlu planhigion (Trafford, 1974) am fod llai o ocsigen yn llifo i'r hadau, sy'n cyfyngu ar gyfraddau egino (Blake *et al.*, 2004), cyfraddau derbyn maethynnau (Malik *et al.*, 2002) ac effeithlonrwydd ffotosynthesis (Parent *et al.*, 2008). Gall dwrlawnder yn yr hydref hefyd arwain at wreiddio gwael yn achos cynydau gaeaf megis ydau a rêp had olew sy'n arwain at golli planhigion dros y gaeaf. Nid yw dwrlawnder yn ystod y gaeaf (ar ei ben ei hun) yn cael fawr ddim effaith.

4.2.4 Dyddiau capasiti cae

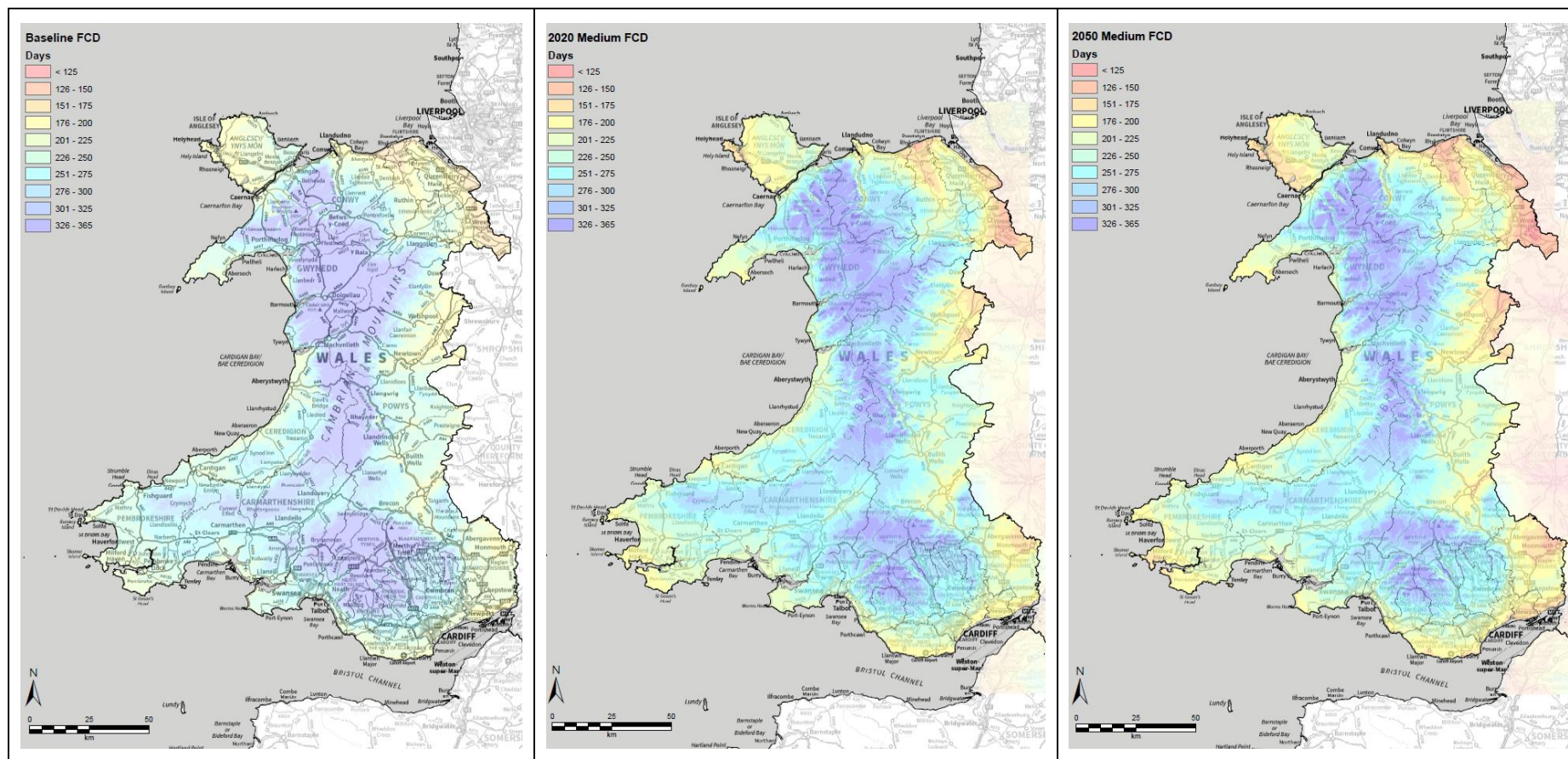
- Diffinnir capasiti cae fel y pwynt lle mae diffyg lleithder pridd yn cyfateb i sero, h.y. pan fo holl fandyllau pridd ac eithrio'r rhai sy'n draenio o dan ddisgyrchiant yn llawn dŵr. Fel arfer, mae priddoedd yn dychwelyd i gapasiti cae yn ystod yr hydref neu ar ddechrau'r gaeaf yn ystod cyfnodau pan fo glawiad yn fwy na chyfraddau sychdarthu, anweddu a thrydarthu. Daw'r cyfnod capasiti cae, a fesurir mewn diwrnodau, i ben yn y gwanwyn pan fo cyfraddau sychdarthu, anweddu a thrydarthu yn fwy na glawiad ac mae diffyg lleithder yn dechrau cronni.
- Yn achos y rhan fwyaf o Gymru, mae dyddiau capasiti cae yn cyfateb i >250 diwrnod ar gyfer pob un o'r cyfuniadau o senarios cyfnod amser/allyriadau (Ffigur 11). Fodd bynnag, mae senarios newid yn yr hinsawdd yn awgrymu y gallai rhai rhannau o Gymru (e.e. y de-ddwyrain) weld lleihad yn nifer y dyddiau capasiti cae yn 2050 a 2080 o gymharu â 2020, gan adlewyrchu'r gostyngiad yng nglawiad yr haf a nodir uchod. Er enghraifft, yn Sir Fynwy o dan y senario allyriadau canolog, rhagwelir y bydd gostyngiad o 18 diwrnod yn nifer y dyddiau capasiti cae rhwng 2020 (209 diwrnod) a 2050 (191 diwrnod), Ffigur 12. Yn yr un modd, ar gyfer Lloegr, mae'r senarios yn rhagweld y bydd nifer y dyddiau capasiti cae yn gostwng, yn enwedig yn nwyrain Lloegr yn senario allyriadau uchel 2080 (Ffigur 13).
- Wrth i batrymau tywydd fynd yn fwy anwadal, daw risgiau a gyflwynir gan amrywioldeb y tywydd yn bwysicach i gynnyrch amaethyddol. Mae argaeledd diwrnodau sy'n addas ar gyfer gwaith maes yn dibynnu ar dymheredd a lleithder pridd, y gall newid yn yr hinsawdd effeithio arnynt (Tomasek *et al.*, 2017).
- Mae argaeledd dyddiau gwaith maes yn dibynnu'n bennaf ar leithder pridd, lle y tybir bod lleithder pridd uwchlaw trothwy penodol yn rhy wlyb i allu trin y pridd (Earl, 1997). Tybir bod gan briddoedd gwahanol yr un trothwy o ran bod yn hydrin os mesurir lleithder pridd cyfeintiol fel canran o'r capasiti cae neu derfyn plastig y pridd (Rounsevell, 1993).
- Nododd Keay *et al.* (2014), er bod cyfartaledd glaw blyneddol wedi aros yn eithaf sefydlog rhwng 1921 a 2000, fod y patrwm tymhorol wedi dangos amrywiad amlwg, gyda glawiad ym

mis Mawrth a mis Mehefin yn cynyddu (20-37%) a glawiad ym mis Gorffennaf yn lleihau (>40%). Gallai'r glawiad uwch ym mis Mawrth a mis Mehefin arwain at ohirio dyddiad gorffen capasiti caeau, a fyddai'n gostwng nifer y dyddiau y gellid trin pridd yn ystod cyfnod tyfu hollbwysig y gwanwyn. Mewn cymhariaeth, mae patrymau glawiad yn ystod yr hydref wedi aros yn sefydlog ond mae ATO tymheredd cronedig wedi cynyddu 61 o ddyddiau gradd rhwng 1914 a 2000. Mae'r tymereddau uwch yn awgrymu y caiff dyddiad dychwelyd capasiti cae ei ohirio tan yn ddiweddarach yn y flwyddyn. Felly, er ei bod yn bosibl na fydd hyd capasiti cae yn gyffredinol yn newid rhyw lawer, bydd yn dechrau'n hwyrach (yn yr hydref) ac yn gorffen yn hwyrach (yn y gwanwyn), a fydd yn ffafrio cynydu a heuir yn yr hydref (Keay *et al.*, 2014).

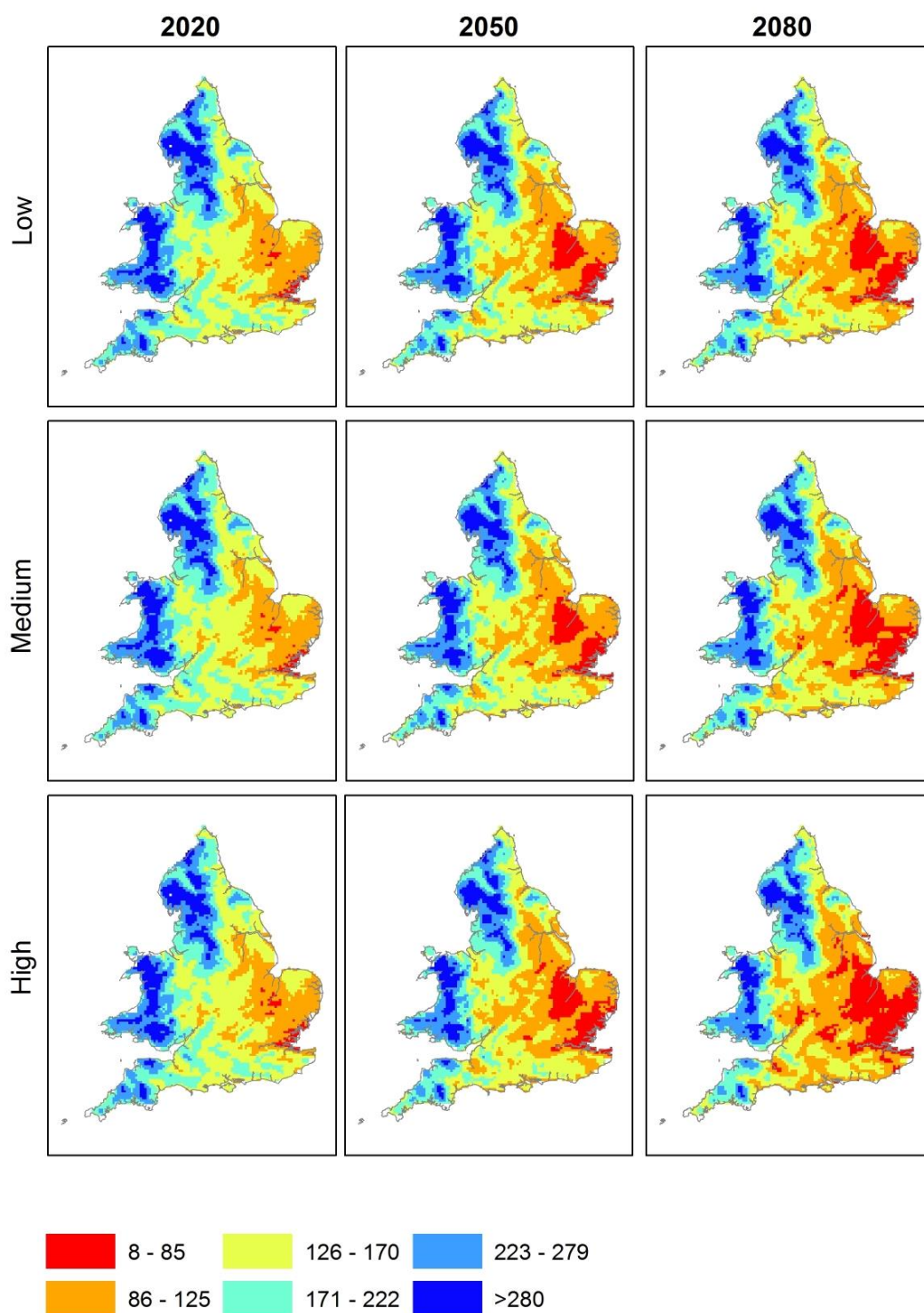
- Fel arfer, collir gorlaw'r gaeaf drwy ddŵr ffo i systemau draenio dŵr wyneb neu mae'n trylifo i ddŵr daear unwaith y cyrhaeddir capasiti cae. Unwaith y bydd priddoedd yn dechrau sychu ym mis Ebrill, mae'r gostyngiad hwn yng nglaw yr haf gyda'r cyfraddau sychdarthu, anweddu a thrydarthu uwch sy'n deillio o dymereddau uwch yn debygol o arwain at leihad sylweddol yn y dŵr sydd ar gael i gynyddau yn ystod cyfnodau twf allweddol.



Ffigur 11. Canolrif cyfnod capasiti cae (dyddiau) ar gyfer senarios isel, canolig ac uchel UKCP18 2020, 2050 a 2080 ar gyfer Cymru.



Ffigur 12. Canolrif cyfnod capasiti cae (dyddiau) ar gyfer y llinell sylfaen, senario canolog UKCP18 2020 a 2050 ar gyfer Cymru.



Ffigur 13. Canolrif cyfnod capasiti cae (dyddiau) ar gyfer senarios isel, canolig ac uchel UKCP18 2020, 2050 a 2080 ar gyfer Cymru a Lloegr.

5 Lliniaru newid yn yr hinsawdd

- Mae lliniaru newid yn yr hinsawdd yn cyfeirio at ymdrechion i leihau neu atal allyriadau nwyon tŷ gwydr. Prif ffocws yr adroddiad hwn yw lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr o amaethyddiaeth gynhyrchol drwy ddal a storio carbon a lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr (h.y. carbon deuocsid, ocsid nitraidd a methan) a achosir gan weithgarwch rheoli tir.

5.1 Deunydd organig yn y pridd o gymharu â charbon organig yn y pridd

- Mae deunydd organig yn y pridd a charbon organig yn y pridd yn dermau a gymysgir yn aml gyda'r naill yn cael ei ddefnyddio ar gam yn lle'r llall. Fodd bynnag, er bod carbon organig yn y pridd yn un o elfennau deunydd organig, nid yw yr un peth â deunydd organig, sydd hefyd yn cynnwys elfennau eraill megis hydrogen, ocsigen a nitrogen yn ogystal â deunyddiau ffres (byw) a dadelfenedig planhigion/anifeiliaid (marw) (FAO, 2019). Mae'r deunydd organig 'byw' yn cynnwys gwreiddiau planhigion a micro-organebau ac mae'r rhan 'farw' fwyaf yn cynnwys gweddillion gwreiddiau a deiliach, ffractsiwn golau (cyfansoddion organig sy'n toddi mewn dŵr ac ensymau yn y pridd) a hwmws (elfen fwyaf y rhan 'farw').
- Mae cronfa garbon y pridd yn cynnwys carbon organig (deunyddiau sy'n deillio o ddadelfennu planhigion ac anifeiliaid) a charbon anorganig. Y mathau mwyaf cyffredin o garbon anorganig yw carbonadau sy'n deillio o ddeunyddiau daearegol neu riant-ddeunyddiau. Mae angen nodi newidiadau yn y stociau carbon organig y pridd yn fanwl gywir er mwyn gallu deall y rôl y mae priddoedd yn ei chwarae wrth gylchu carbon yn fyd-eang a chadarnhau newidiadau mewn stociau a achosir gan weithgarwch rheoli (Schrumpf *et al.*, 2011).

5.2 Dal a storio carbon

- Mae cynyddu stoc carbon y pridd yn fyd-eang er mwyn helpu i liniaru newid yn yr hinsawdd yn cael sylw ledled y byd, fel y dangosir gan fenter '4 per 1000' a lansiwyd yng nghynhadledd COP21 ym Mharis yn 2015⁵. Nod menter '4 per mil' neu '4 per 1000' yw cynyddu stociau deunydd organig yn y pridd ledled y byd 0.4% y flwyddyn er mwyn gwneud iawn am yr allyriadau nwyon tŷ gwydr o ffynonellau anthropogenig ledled y byd (Minasny *et al.*, 2017). Fodd bynnag, bydd ymarferoldeb gwella prosesau dal a storio carbon yn y pridd yn dibynnu ar yr amodau cymdeithasol ac economaidd sydd ar waith, megis cost llafur a chynhyrchu digon o fwyd, yn ogystal â ffactorau naturiol (Stockmann *et al.*, 2013).
- Amsugnir carbon deuocsid yn yr aer gan blanhigion drwy ffotosynthesis. Wedyn, caiff deunydd planhigion marw (e.e. deiliach a gwreiddiau marw) eu dyddodi yn y pridd lle mae micro-organebau yn dadelfennu'r deunydd organig hwn. Mae carbon organig yn y pridd yn mesur cynnwys carbon deunydd organig yn y pridd ac mae'n elfen allweddol o ddeunydd organig yn y pridd. Os bydd y gyfradd cronni carbon organig yn y pridd yn fwy na'r gyfradd dadelfennu, yna bydd swm y carbon yn y pridd yn cynyddu, h.y. caiff ei ddal a'i storio. Fodd bynnag, os bydd y gyfradd colli yn fwy na'r gyfradd cronni, bydd y pridd yn colli carbon yn bennaf fel CO₂ (yn ogystal â methan o briddoedd dwrlawn) i'r atmosffer.
- Amcangyfrifwyd bod priddoedd ledled y byd yn cynnwys dwywaith cymaint o garbon (fel carbon organig) ag y mae'r atmosffer yn ei gynnwys a theirgwaith cymaint ag y mae cronfa fiotig y ddaear yn ei gynnwys. O ganlyniad, gallai hyd yn oed newidiadau bach yn y carbon organig yn y pridd ddylanwadu'n fawr ar CO₂ atmosfferig a bod yn ffactor pwysig o ran llywio'r hinsawdd (Gosling *et al.*, 2017). Mae storio carbon mewn priddoedd yn dibynnu ar y math o fewnbynnau,

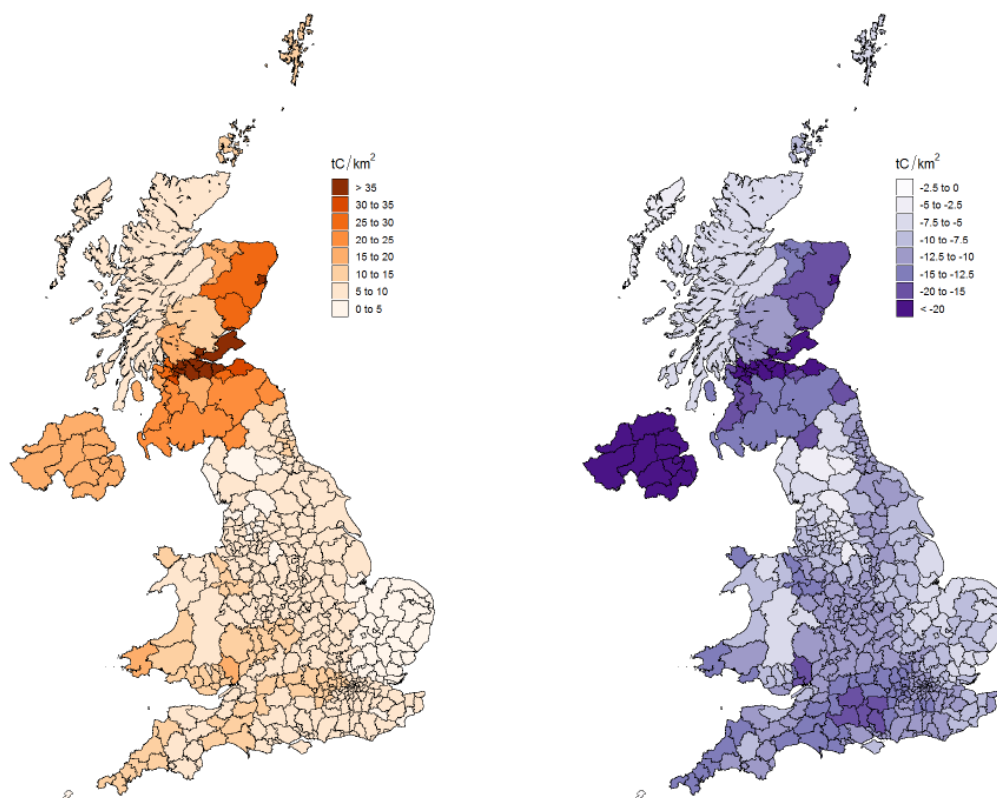
⁵ <https://www.4p1000.org/>

cyfradd dadelfennu deunydd organig yn y pridd, ansawdd y pridd a'r hinsawdd (Johnston *et al.*, 2009).

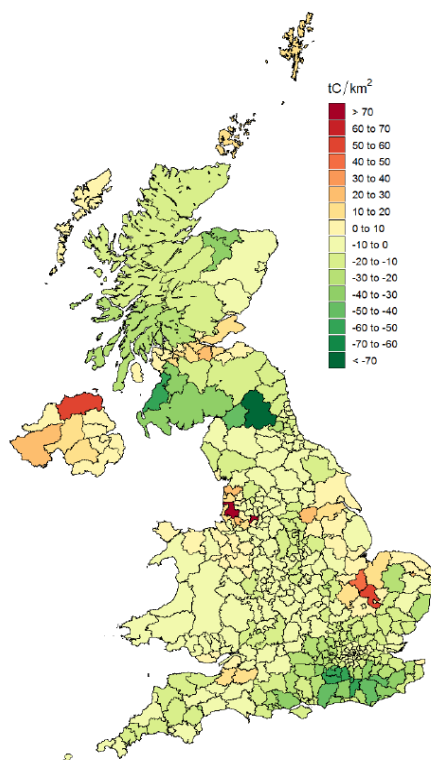
- Un ffordd bosibl o ostwng lefelau CO₂ atmosfferig yw cynyddu'r carbon sy'n cael ei storio mewn pridd ledled y byd. Cyfeirir at y broses o dynnu carbon o'r awyr a'i storio mewn dalfeydd carbon (e.e. pridd neu goedwigoedd) fel dal a storio carbon. Fe'i diffinnir gan yr IPCC fel 'the process of storing carbon in a carbon pool' (IPCC, 2019). Fodd bynnag, mae'n rhaid cydnabod nad yw cynnydd lleol mewn stociau carbon organig yn y pridd (h.y. 'storio carbon organig yn y pridd') o reidrwydd yn cynnwys lliniaru newid yn yr hinsawdd (Alison *et al.*, 2019b). Fel y pwysleisia Chenu *et al.* (2019), 'SOC storage' can be treated as distinct from 'SOC sequestration'; mae'r olaf yn awgrymu bod CO₂ wir yn cael ei dynnu o'r atmosffer bob blwyddyn, gan gyfrannu at ostyngiadau net mewn allyriadau nwyon tŷ gwydr.

5.3 Defnydd tir

- Mae newid defnydd tir, megis datgoedwigo neu drin tir, yn ffynhonnell fawr o allyriadau nwyon tŷ gwydr. Mae'r DU wedi llofnodi Confensiwn Fframwaith y Cenhedloedd Unedig ar Newid yn yr Hinsawdd ac mae'n ofynnol iddi lunio rhestr flynyddol o allyriadau nwyon tŷ gwydr. Fel rhan o'r ymrwymiad hwnnw, caiff data ar ddefnydd tir, newid defnydd tir a choedwigaeth (LULUCF) eu casglu bob blwyddyn ar gyfer Cymru (yn ogystal â Lloegr, yr Alban a Gogledd Iwerddon). Mae newid defnydd tir i dir â'r yn arwain at golli carbon yn y pridd (gwerthoedd cadarnhaol yn Ffigur 14a) tra bod newid defnydd tir i laswelltir yn arwain at ddal a storio carbon (gwerthoedd negyddol yn Ffigur 14b). Ar y cyfan, yn achos y rhan fwyaf o'r wlad, bu cynnydd bach net mewn lefelau Carbon o ganlyniad i LULUCF (Ffigur 15).
- Felly, er mai prif ffocws yr adroddiad hwn yw lleihau allyriadau nwyon gwydr o amaethyddiaeth gynhyrchol, mae'n hanfodol cydnabod, yn enwedig o ran dal a storio carbon, ei bod yn debygol bod gan ddefnyddiau tir heblaw amaethyddiaeth gynhyrchol fwy o botensial i leihau allyriadau nwyon tŷ gwydr. Er enghraifft, dangosodd meta-ddadansoddiad Guo a Gifford (2002), sy'n seiliedig ar 74 o gyhoeddiadau, fod lefelau carbon yn y pridd yn gostwng pan oedd tir â'r yn disodli coedwigoedd brodorol (-42%) a thir pori (-59%). Er y bydd y newidiadau posibl yn amrywio yn ôl y math o bridd, er enghraifft, mae gweithgarwch coedwigo ar briddoedd mwynol sy'n cael eu defnyddio i dyfu cnydau â'r ac sy'n cynnwys lefelau isel o garbon organig i ddechrau yn debygol o gronni carbon tra bod gweithgarwch coedwigo ar ôl draenio priddoedd mawnaidd gwlyb yn debygol o arwain at golli carbon organig yn y pridd.
- Mae hefyd yn bwysig cydnabod pwysigrwydd diogelu a chynnal cynefinoedd sydd â stociau carbon organig yn y pridd eisoes. Gallai coetiroedd, ynghyd â mawndir, er enghraifft, ddal a storio mwy o garbon nag unrhyw fath arall o gynefin (Tabl 1). Gall adfer mawndir hefyd osgoi'r allyriadau nwyon tŷ gwydr o fawndir diraddedig.
- Gallai troi tir â'r yn laswelltir parhaol hefyd ddod â manteision o ran dal a storio carbon ac mae hefyd yn debygol o leihau colledion nitradau yn sgil trwytholchi, er y bydd maint y lleihad yn dibynnu ar ffactorau gan gynnwys mewbynnau nitrogen, gwaith rheoli glaswelltir ac ati. (Bhagal *et al.*, 2009). Fodd bynnag, mae troi tir â'r yn laswelltir yn annhebygol o fod yn opsiwn ymarferol yng Nghymru am fod arwynebedd y tir â'r yn fach ac am mai glaswelltir sy'n cyfrif eisoes am y mwyafrif helaeth o'r sector amaethyddol. Trafodir y potensial sydd gan laswelltir sy'n bodoli eisoes i ddal a storio carbon a lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr yn fanylach yn Adran 6.



Ffigur 14. Allyriadau carbon (gwerthoedd cadarnhaol) neu garbon a dynnwyd (gwerthoedd negyddol) yn 2017 o bridd o ganlyniad i newid defnydd tir (t C/km²) ar gyfer troi pob math o ddefnydd tir a) yn dir âr a b) yn laswelltir. Ffynhonnell: Clilverd *et al.*, 2019.



Ffigur 15. Cyfanswm yr allyriadau carbon (gwerthoedd cadarnhaol) neu'r carbon a dynnwyd (gwerthoedd negyddol) yn 2015 o ganlyniad i LULUCF yn y DU (t C/km²). Ffynhonnell: Clilverd *et al.*, 2019.

Tabl 1. Mesurau lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr ar gyfer defnydd tir a gwaith rheoli tir yng Nghymru. Ffynhonnell: ADAS *et al.*, 2014.

Mitigation measure	Abatement rate	Annual Abatement ktCO ₂ e MTP	Applicability (uptake available)	Cost effectiveness of measure*
Woodland planting - 100,000 ha available for planting.	420-694 tCO ₂ e/ha for a 100-year period	590	Medium	Medium
Natural regeneration of woodland – estimated at 10% of planted area.	420-694 tCO ₂ e/ha for a 100 year period	59	Medium	Low
Woodland edge expansion and streamside corridor planting (assuming addition of woody linear features to the inventory).	Estimated at 10% of traditional woodland rate	25	High	Medium
Hedgerow restoration / expansion (assuming addition of woody linear features to the inventory).	Increase hedgerow biomass by 10% by 2030	15	High	Medium
Restore all degraded peatland.	Based peatland areas by type and associated abatement (0.9 tCO ₂ e/ha/yr for rough grassland to 27.3 tCO ₂ e/ha/yr for arable land).	324	Medium	Low
Reduce agricultural lime use by 10%.	Based on emissions from liming of 54 ktCO ₂ e (2012).	5.4	Low	Low

5.3.1 Coetir

- Mae ehangu coetiroedd ac adfer mawndir diraddedig yn lliniaru newid yn yr hinsawdd drwy ddiogelu a/neu greu storffeydd carbon a lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr sy'n gysylltiedig ag arferion rheoli. Gall y ddau gystadlu â gweithgarwch cynhyrchu bwyd ond gall fod ganddynt gryn botensial o ran sicrhau gostyngiadau mawr mewn allyriadau nwyon tŷ gwydr bob blwyddyn (ADAS *et al.* 2014), Tabl 1. Byddai llwyddo i gyflawni 50% o gyfanswm y lleihad posibl yn sicrhau gostyngiad o tua 500 500 kt CO₂-eq y flwyddyn; mae rhwystrau i newid defnydd tir yn awgrymu ei bod yn annhebygol y byddai'r mesurau a nodir yn Nhabl 1 yn cael eu rhoi ar waith yn llwyr.
- Mae cyfraniad coetir at ddal a storio carbon yn amrywio drwy gydol ei gylch oes gyda CO₂ yn cael ei allyrru o ganlyniad i darfu ar bridd wrth blannu a chynaeafu a dal a storio carbon yn ystod y cyfnod tyfu. At hynny, dangoswyd y gall gwahanol rywogaethau o goed ddal a storio gwahanol symiau o garbon. Er enghraifft, daeth Morison *et al.* (2012) i'r casgliad y byddai plannu sbrîws Sitka ar glai glas mawnaidd yn dal ac yn storio cyfanswm o 420 t CO₂-eq/ha am gyfnod o 100 mlynedd. Mewn cymhariaeth, gellid disgwyl i rywogaethau llydanddail brodorol megis coed derw a dyfir ar bridd mwynol ddal a storio 694 t CO₂-eq/ha gyda'r nifer lleiaf posibl o ymyriadau yn ystod yr un cyfnod.

- Nod Strategaeth Coetiroedd i Gymru Llywodraeth Cymru, a lansiwyd yn 2018, yw cynyddu gorchudd coetir yng Nghymru o leiaf 2,000 ha y flwyddyn rhwng 2020 a 2030 (Llywodraeth Cymru, 2018b). Bwriedir i arian grant o gynllun Creu Coetir Glastir (hyd at £9,000/ha) helpu perchenogion tir i gyflawni targedau plannu ac mae gweithgarwch plannu coetiroedd newydd yn cael ei gefnogi gan £2 filiwn o gyllid Glastir (a gynyddwyd o £1 filiwn yn 2019 er mwyn cydnabod polisi Cymru i blannu mwy o goetir er mwyn cyflawni targedau ar gyfer lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr).
- Gall coedwigo cynefinoedd agored a thir â'r gynyddu cynnwys carbon priddoedd mwynol, ond nid felly y mae yn achos coed sy'n cael eu plannu ar briddoedd organo-fwynol a mawnaidd. O ganlyniad i weithgarwch coedwigo, gall priddoedd mawnaidd sychu, gan ollwng symiau mawr o garbon (Alonso *et al.*, 2012). Ar ôl sefydlu coetir, mae cyfraddau dal a storio carbon yn cynyddu'n sylweddol wrth i gyfraddau twf gynyddu cyn arafu pan fydd y coed yn aeddfed. Fodd bynnag, mae clystyrau o goed aeddfed yn parhau i ddal a storio symiau net o garbon wrth i ddeiliach a choed marw gronni.

5.3.2 Mawndir

- Mae tua 90,000ha o bridd organig/pridd mawn yng Nghymru, sy'n cyfateb i tua 4% o'r arwynebedd tir. Mae 75% mewn ardaloedd ucheldirol a 25% ar dir isel (Evans *et al.*, 2015). Er gwaethaf eu harwynebedd tir bach, coetiroedd yw'r storfa garbon dddearol fwyaf yng Nghymru. Amcangyfrifodd Bradley *et al.* (2005) fod stoc carbon y pridd yng Nghymru yn cyfateb i 340 Mt, y mae cyfran fawr ohono yn cael ei ddal a'i storio mewn priddoedd mawn ar dir uchel. Yn fwy diweddar, amcangyfrifwyd bod cyfanswm stoc carbon y pridd yng Nghymru yn cyfateb i 410 Mt (Russell *et al.*, 2011; Cyfoeth Naturiol Cymru, 2016) y mae 157 Mt ohono (tua 40%) mewn priddoedd mawn a 57 Mt (tua 15%) mewn priddoedd mewn coedwigoedd (Cyfoeth Naturiol Cymru, 2016).
- Dangosodd dadansoddiad newydd diweddar o'r carbon mewn pridd wyneb yn y categori 'cynefin' a gollwyd rhwng 2007 a 2016, a gofnodwyd gan y GMEP, fod y newid a gofnodwyd i'w briodoli i dueddiadau mewn cynefinoedd ucheldirol, yn enwedig y newid ar gyfer corlwyni i gynefinoedd sy'n cynnwys glaswelltir yn bennaf (Alison *et al.*, 2019a).
- Yn ei gyflwr naturiol, mae gan fawndir y potensial i gyfrannu at reoleiddio'r hinsawdd drwy ddal a storio CO₂ yn barhaus. Fodd bynnag, mae canrifoedd o weithgarwch dynol, gan gynnwys draenio, gorbori a throi glaswelltir yn goedwigoedd, wedi cael effaith andwyol ar lawer o fawndiroedd yng Nghymru. O ganlyniad, ystyrir bod mawndiroedd yng Nghymru yn ffynhonnell allyriadau nwyon tŷ gwydr (Evans *et al.*, 2015). Nod mesurau a gefnogir drwy Glastir, yn ogystal â dulliau ymyrryd eraill ar gyfer rheoli tir a chadwraeth tir, yw adfer gweithrediad dal a storio carbon mawndiroedd yng Nghymru. Mae opsiynau Glastir yn gwobrwyo lleihad mewn pwysau defnydd tir ac opsiynau rheoli ar amrywiaeth o gorsydd a ffeniau ucheldirol ac iseldirol (e.e. opsiwn 141: cors iseldir a mignenni asid eraill – adfer (dim pori)). Ymhlith yr arferion rheoli a gynhwyswyd fel rhan o'r opsiynau hyn mae peidio â charthu ffosydd sy'n bodoli eisoes, peidio â phlannu coed, peidio â llosgi llystyfiant, terfynau isaf ac uchaf ar gyfraddau stocio neu wahardd pob math o bori.
- Amcangyfrifir bod un neu fwy o weithgareddau defnyddio tir a fydd yn annog deunydd organig i gael ei golli e.e. draenio, gorbori, esgeulustod o ran rheoli mawndir, troi mawndir yn laswelltir dwys a phlannu coed arno, wedi effeithio ar dri chwarter arwynebedd mawndir Cymru. Mae amcangyfrifon diweddar yn awgrymu bod mawndiroedd yng Nghymru yn colli rhwng 380-550 Kg CO₂-eq/y flwyddyn ar hyn o bryd (ADAS *et al.*, 2014; Evans *et al.*, 2015). Mae a wnelo gwahaniaethau mewn amcangyfrifon o golledion ag amrywiadau mewn tir sydd i'w priodoli i gategorïau o allyriadau. Priodolwyd y colledion (yn ôl maint) i (i) mawndir o dan laswelltir wedi'i

wella, (ii) coetir coniferaidd ar fawn a (iii) corydd wedi'u haddasu ac wedi'u draenio. Amcangyfrifwyd bod y potensial i liniaru newid yn yr hinsawdd y gellid ei gyflawni petai mawndiroedd yn cael eu dychwelyd i gyflwr lled-naturiol, yn cyfateb i tua 300 kt CO₂-eq/y flwyddyn (ADAS *et al.*, 2014; Evans *et al.*, 2015).

6 Glaswelltir yn lliniaru newid yn yr hinsawdd drwy ddal a storio carbon

- Nodweddir amaethyddiaeth yng Nghymru yn bennaf gan laswelltir (tir pori parhaol, tir pori garw a glaswelltir a heuwyd yn ystod y 5 mlynedd diwethaf), sy'n cyfrif am >85% o'r arwynebedd amaethyddol a ddefnyddir (Llywodraeth Cymru, 2018a). Mae glaswelltir yn gweddu i'r hinsawdd wlyb a mwyn a'r tir uchel llethrog sy'n nodweddu Cymru. Felly, mae potensial glaswelltiroedd i ddal a storio carbon yn hanfodol bwysig i gyflawni targedau ar gyfer lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr yng Nghymru. Fodd bynnag, efallai y bydd arferion rheoli sy'n cynyddu'r carbon organig yn y pridd hefyd yn cynyddu allyriadau nwyon tŷ gwydr eraill ar yr un pryd ac yn dileu unrhyw fanteision sy'n deillio o lefelau uwch o garbon organig yn y pridd.

6.1 Glaswelltir

- O dan fathau tebyg o bridd ac amodau hinsawdd, mae priddoedd glaswelltir parhaol yn cynnwys mwy o garbon organig o gymharu â phriddoedd tir âr, sy'n adlewyrchu mewnbynnau mwy o weddillion organig, mäs gwreiddyn mwy a'r ffaith bod llai o darfu ar y pridd. Am fod gan briddoedd glaswelltir stociau uwch o garbon organig yn y pridd nag sydd gan dir âr, byddai disgwyl i unrhyw gynllun i gyflwyno glaswellt i gylchdro â'r gynyddu stociau carbon organig yn y pridd. Fodd bynnag, mae'r effaith hon yn debygol o fod yn fwy sylweddol yn achos cylchdroadau sy'n cynnwys sawl blwyddyn o laswellt wedi'u dilyn gan un neu ddwy flynedd o ffermio â'r yn hytrach nag un flwyddyn o laswelltir wedi'i dilyn gan sawl blwyddyn o ffermio â'r. (Moxley *et al.*, 2014).
- Mae glaswelltiroedd cylchdro yn rhai dros dro o ran natur ac mae amaethu mynych yn golygu bod deunydd organig yn y pridd yn fwy tebygol o ddadelfennu o gymharu â glaswelltir parhaol (Acharya *et al.*, 2012). Gall tua 20-30% o garbon organig yn y pridd yn y 30cm uchaf o derfynlin pridd gael ei golli'n gyflym o ganlyniad i amaethu mynych mewn rhanbarthau tymherus (Hutchinson *et al.*, 2007). Dangosodd arsylwadau gan Attard *et al.* (2016) anghymesured y systemau: roedd carbon organig yn y pridd yn cael ei golli'n gyflym ar ôl trin pridd glaswelltir tra bod y broses o adfer carbon organig yn y pridd yn un araf. Roedd ailsefydlu gwreiddiau planhigion a thwf y gwreiddiau hynny yn y pridd a oedd wedi'i drin yn flaenorol yn ffactor allweddol.
- Yng Nghymru, mae'r rhan fwyaf o briddoedd iseldir mewn glaswelltir byrdymor neu hirdymor (mewn glaswelltir hirdymor y'u ceir gan amlaf). Mae gweithgarwch amaethu ac ailhau yn ysgogi ocsideiddio carbon yn y pridd ond, am ei fod yn cael ei gyflawni fel arfer bob ryw bum mlynedd neu'n llai rheolaidd na hynny, mae'n debyg ei fod yn ddibwys o ran storio carbon yn y pridd yn yr hirdymor (Adams, 2017). At hynny, mae defnyddio gwndwynnydd byrdymor o un neu ddwy flynedd yn anneniadol, o safbwynt ymarferol ac economaidd.
- Yn achos priddoedd mwynol o dan laswelltir wedi'i wella, fel arfer ystyrir bod mewnbynnau o faethynnau o wrteithiau sachau a thail yn cynyddu'r carbon sy'n cael ei storio oherwydd cynhyrchiant cynyddol planhigion a mewnbynnau o weddillion a gwreiddiau i'r pridd. Dangoswyd bod gwella amrywiaeth rhywogaethau ac, yn benodol, gyflwyno glaswelltau dyfnwraidd newydd sydd â chynhyrchiant uwch i'r cymysgedd o rywogaethau yn cynyddu cynnwys carbon organig yn y pridd, yn enwedig ar dir pori isel ei gynhyrchiant (Moxley *et al.*, 2014).
- Ar laswelltir iseldir, mae gweithgarwch torri a phori yn cael sawl effaith ryngweithiol ar y stociau carbon yn y pridd. Gall dwysedd stocio cymedrol gynyddu faint o garbon sy'n cael ei ddal a'i storio (o linellau sylfaen isel) ond gall mewnbynnau o wrin gynyddu pH a all beri deunydd organig yn y pridd symud ym mhob un o'r proffiliau pridd (Moxley *et al.*, 2014). Mae dwyseddau stocio uwch yn tueddu i leihau cynnyrch tir pori a gweddillion sy'n dychwelyd i'r pridd, a all

leihau swm y carbon organig sy'n cael ei storio yn y pridd (Moxley *et al.*, 2014). Mae'n bosibl y byddai dwysáu'r defnydd a wneir o laswelltiroedd prin eu maethynnau a ddatblygwyd ar briddoedd organig yn arwain at golli mwy o'r carbon sydd yn y pridd. Mae'n bosibl y bydd gweithgarwch rheoli helaeth yn fuddiol o ran cynyddu faint o garbon sy'n cael ei ddal a'i storio gan laswelltir fesul uned, ar yr amod nad yw maethynnau yn gyfyngol.

- Mae cyfraddau dal a storio carbon mewn glaswelltiroedd tymherus yn amrywio o gyfradd negyddol (Schipper *et al.*, 2007) i 8 Mg C ha/y flwyddyn (Jones and Donnelly, 2004) ac mae cryn dipyn o ansicrwydd yn gysylltiedig â nhw (Soussana *et al.*, 2004), sy'n deillio o newidynnau hinsoddol (lleithder a thymheredd) a gwahaniaeth gofodol yng nghapasiti dalfeydd ecosystemau (Hutchinson *et al.*, 2007).
- Mae astudiaethau o garbon sy'n cael ei storio mewn pridd yn awgrymu bod y rhan fwyaf o'r carbon mewn glaswelltiroedd yn tarddu o rywle islaw biomas ar wyneb y ddaear (Hungate *et al.*, 1997; Jackson *et al.*, 2002), gwreiddiau yn bennaf (Adair *et al.*, 2009). Mae tua 70-75% o fiomas gwreiddiau mewn glaswelltir wedi'i grynhoi yn y 15 cm uchaf o'r derfynlin pridd (Gleixner *et al.*, 2005). Mae'r biomas gwreiddiau yn cynyddu gydag oedran glaswelltir. Dengys amcangyfrifon fod carbon organig yn y pridd sy'n deillio o wreiddiau tir â'r tymherus a rhywogaethau glaswelltir yn ystod tymor tyfu tua 0.1–2.8 t/ha (Rees *et al.*, 2005).

6.2 Dylanwadau gwaith rheoli ar faint o garbon sy'n cael ei storio mewn glaswelltir

6.2.1 Ecwilibriwm carbon

- Mae defnydd tir yn cael cryn effaith ar allu priddoedd i storio neu golli carbon. Ar briddoedd mwynol neu organo-fwynol, dim ond nes y cyrhaeddir stociau ecwilibriwm newydd y bydd newidiadau mewn stociau carbon organig yn y pridd yn dilyn newid mewn arferion rheoli (e.e. troi tir â'r yn laswelltir) yn parhau. Ar y llaw arall, gallai mawn na tharfwyd arno ddal a storio carbon dros gyfnod estynedig.
- Er bod cynnwys carbon organig ym mhrridd glaswelltir yn uwch na thir â'r, mae Moxley *et al.* (2014) yn nodi y bydd glaswelltir parhaol o dan gyfundrefn reoli gyson wedi cyrraedd ecwilibriwm ac na fydd yn colli nac yn dal ac yn storio carbon. Mae hyn yn debygol o fod yn wir yn achos llawer o laswelltiroedd yng Nghymru lle mae arferion rheoli yn gyson a lle nad ydynt yn tarfu fawr ddim ar y pridd, os o gwbl. Felly, yn achos y rhan fwyaf o laswelltiroedd parhaol, yr her yw sicrhau bod carbon yn parhau i fod wedi'i gloi yn y pridd.
- Fodd bynnag, lle mae tir pori parhaol yn cael ei aredig a'i ail-hau yn rheolaidd, mae'n bosibl na fydd ecwilibriwm carbon organig yn y pridd wedi'i gyrraedd a gall carbon barhau i gael ei ddal a'i storio. Yn yr un modd, mae gan laswelltir cylchdro y potensial i ddal a storio carbon ond dim ond o dan arferion rheoli priodol sy'n sicrhau y cedwir carbon organig yn y pridd y sicrhau y manteision sy'n gysylltiedig â hynny

6.2.2 Storio carbon mewn glaswelltiroedd

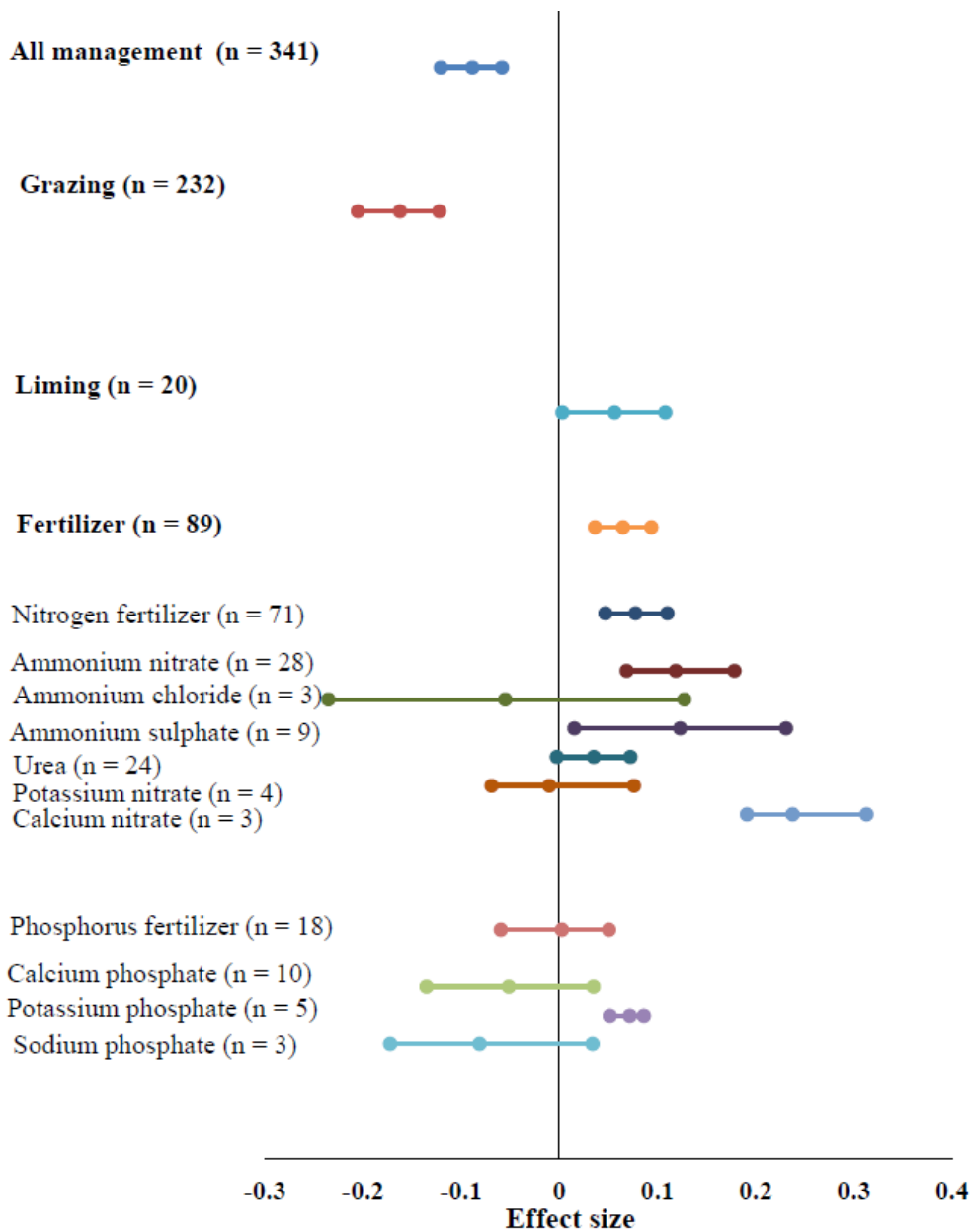
- Yn fyd-eang, fel arfer rheolir glaswelltiroedd i gynyddu cynhyrchiant biomas er mwyn cefnogi cynnyrch da byw, ac maent naill ai'n cael eu pori'n uniongyrchol neu'n cael eu torri ar gyfer porthiant (gwair neu silwair), neu'n cael eu defnyddio ar gyfer cyfuniad o'r tri. Yn ddiweddar bu effaith gweithgarwch rheoli glaswelltiroedd ar garbon yn destun dau adolygiad mawr gan Eze *et al.* (2018) a Conant *et al.* (2017).
- Cynhaliodd Eze *et al.* (2018) feta-ddadansoddiad o 341 o setiau data, a edrychodd ar y ffordd y mae'r math o weithgaredd rheoli a dwysedd y gweithgaredd rheoli yn effeithio ar lefelau carbon organig yn y pridd. Tynnwyd data o erthyglau wedi'u hadolygu gan gymheiriaid, a gyhoeddwyd mewn cyfnodolion cyn mis Ionawr 2017, ac roeddent yn cynnwys setiau data o Ewrop (gwrtait, 2017).

pori a chalchu), Gogledd a De America (gwartaith a phori), Affrica (pori), Asia (gwartaith a phori) ac Awstralia (gwartaith, pori a chalchu). Roedd gweithgarwch calchu, taenu gwartaith a phori wedi arwain at ostyngiad cyffredinol sylweddol (-8.5%) yn lefelau carbon organig yn y pridd o gymharu â lleiniau rheoli (e.e. lleiniau lle nad oedd da byw yn cael eu pori a lle nad oedd gwartaith yn cael ei daenu). Fodd bynnag, roedd gwahaniaeth mawr rhwng y tri gweithgaredd rheoli ($P < 0.05$) o ran eu heffeithiau unigol ar gynnwys carbon organig yn y pridd. Roedd pori da byw wedi arwain at ostyngiad sylweddol o 15% yng nghynnwys carbon organig yn y pridd ac roedd gweithgarwch calchu wedi arwain at gynydd ansylweddol (+5.8%) tra roedd gweithgarwch taenu gwartaith wedi arwain at gynydd sylweddol o +6.7% yn y stociau carbon organig yn y pridd (Ffigur 16).

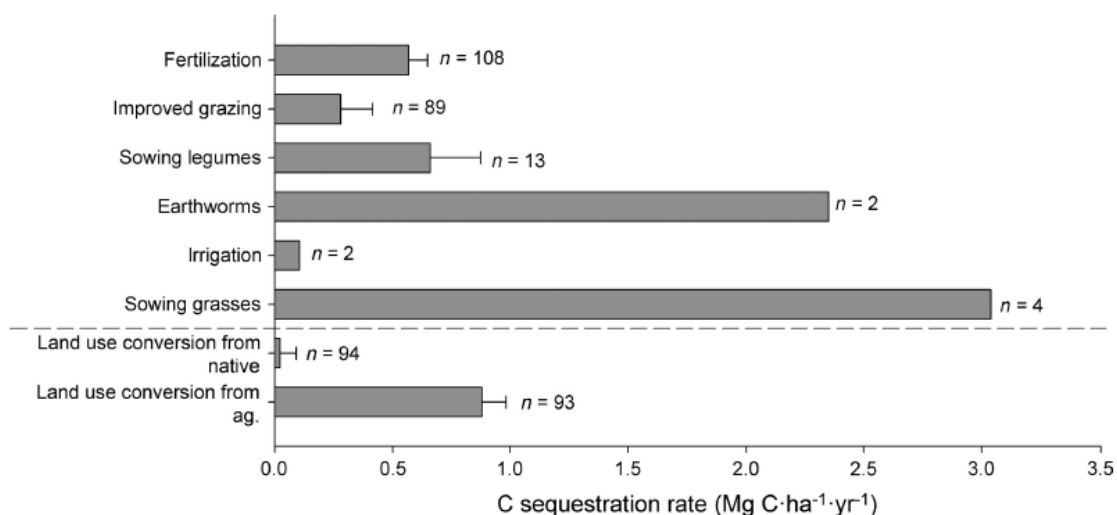
- Dylanwadodd y dwysedd pori (ysgafn, cymedrol neu uchel) neu'r gyfradd taenu calch neu wartaith ar ba mor gyflym roedd lefelau carbon organig yn y pridd yn newid a/neu i ba gyfeiriad roeddent yn newid. Yn achos pori, gostyngodd lefelau carbon organig yn y pridd wrth i'r dwysedd pori gynyddu o bori ysgafn (-13.2%) a phori cymedrol (-13.2%) i bori trwm (-27.1%); roedd y gostyngiad yn y lefelau carbon organig yn y pridd yn ystadegol arwyddocaol ar bob un o'r tair lefel o ddwysedd pori. Defnyddiodd Eze *et al.* (2018) ddisgrifiad ansoddol o ddwysedd pori, yn unol â'r hyn a gofnodwyd yn y papurau wedi'u hadolygu gan gymheiriaid a oedd yn ffurfio'r meta-ddadansoddiad. Roedd angen mabwysiadu'r dull hwn o weithredu oherwydd anghysondebau yn y dwysedd pori a gofnodwyd (e.e. mathau gwahanol o dda byw ac unedau mesur gwahanol) a chydabu hefyd yr amrywiad cynhenid yng nghapasiti cynnal da byw mewn hinsoddau gwahanol.
- Yn achos gwartaith, arweiniodd cyfraddau N isel at gynydd ansylweddol (+0.3%) mewn stociau carbon organig yn y pridd tra arweiniodd cyfraddau N cymedrol a chyfraddau N uchel at gynydd sylweddol o +5.2% a +13.3% (yn y drefn honno) yn lefelau carbon organig yn y pridd. Yn debyg i'r categorïau pori, cafodd dwysedd gwartaith ei gategoreiddio (N isel, N cymedrol ac N uchel) ar sail y broses gategoreiddio ansoddol a ddefnyddiwyd gan awduron astudiaethau unigol. Lle na nododd yr awduron ddwysedd gwartaith dangosol, defnyddiodd Eze *et al.* (2018) y dosbarthiadau canlynol: isel, <50 kg N/ha, cymedrol, 50-150 kg N/ha ac uchel, >150 kg N/ha.
- Dilynodd ymateb cynnwys carbon yn y pridd i ddwysedd calchu cynyddol batrwm gwahanol: bu cynnydd ansylweddol yn y stociau carbon organig yn y pridd ar gyfraddau calch isel (+6.8%) ac uchel (+2.8%), tra arweiniodd cyfradd calchu gymedrol ar gynydd sylweddol (+14.1%) yn y stociau carbon yn y pridd. Cafodd calchu ei gategoreiddio fel a ganlyn: isel, <3 t/ha, cymedrol, 3-5 t/ha ac uchel >5 t/ha.
- O ganlyniad i'r cynnydd cymedrol yn lefelau carbon organig yn y pridd o ganlyniad i weithgarwch calchu ac ychwanegu gwartaith, awgrymodd Eze *et al.* (2018) nad yw gweithgarwch rheoli i gynyddu faint o fïomas sy'n cael ei gynhyrchu yn cyfrannu digon o ddeunydd organig i gymryd lle'r hyn a gollwyd drwy gael ei dynnu'n uniongyrchol gan anifeiliaid. Fodd bynnag, mewn hinsoddau tymherus, lleihaodd effaith negyddol pori ar lefelau carbon organig yn y pridd yn sylweddol wrth i dymheredd cymedrig blynyddol a dyodiad cymedrig blynyddol gynyddu, sy'n awgrymu y gallai rhai priddoedd glaswelltir tymherus fod yn ddalfeydd carbon. Awgrymodd yr awduron y gallai'r rhyngweithio cadarnhaol cryf rhwng y tymheredd a gweithgarwch rheoli glaswelltir ar gynnwys carbon organig yn y pridd gael ei esbonio gan gynydd yn hyd y tymor tyfu a achosir gan y tymheredd (Hunt *et al.* 1991) sy'n cynyddu twf planhigion ac ychwanegiadau carbon i'r pridd (Chang *et al.*, 2016).
- Adolygodd Conant *et al.* (2017) 126 o bapurau (>6500 o bwyntiau data) gan fesur cynnwys carbon organig yn y pridd o dan amrywiaeth o arferion rheoli glaswelltir (nid oedd yr adolygiad yn cynnwys unrhyw fanylion penodol am weithgarwch rheoli, e.e. gwartaith neu gyfraddau stocio). Cyferbynnodd astudiaethau arfer rheoli 'safonol' ag arfer rheoli 'wedi'i wella' ac, ar y

cyfan, roeddent yn dod o Ogledd a De America, Ewrop ac Awstraliasia. Roedd y newidiadau i arferion rheoli a roddwyd ar waith yn ymwneud yn bennaf â'r defnydd o wrtaith (32%), y gyfradd pori (21%) neu droi tir â'r (25%) neu llystyfiant brodorol (16%) yn laswelltir.

- Roedd effaith newidiadau mewn arferion rheoli ar garbon organig yn y pridd fel a ganlyn: y defnydd o wrtaith (+12%; 3.44% i 3.58% o garbon organig yn y pridd), y gyfradd pori (+10%, 2.62%-2.89% o garbon organig yn y pridd), tir â'r yn laswelltir (+40%, 0.97% i 1.35% o garbon organig yn y pridd)) neu droi llystyfiant brodorol yn laswelltir (-14%, 2.97% i 2.55% o garbon organig yn y pridd)) (Ffigur 17). Ar y cyfan, lleihaodd maint y newid yng nghynnwys carbon yn y pridd gyda dyfnder, gyda chynnydd cyfartalog o 23% yn yr 20 cm ar wyneb y ddaear ond dim ond 12 ar broffiliau pridd is (ni roddwyd unrhyw ddata meintiol).
- Dangosodd Conant *et al.* (2017) fod cynnwys carbon organig yn y pridd wedi cynyddu 10% ar gyfartaledd (o 2.62% i 2.89% o garbon organig yn y pridd) o gymharu â'r arfer rheoli 'safonol' gyda newidiadau i arferion rheoli pori (gan gynnwys cyfradd stocio is, pori am gyfnod byr neu bori tymhorol a symud da byw sy'n pori oddi ar y tir). Fodd bynnag, er bod arferion rheoli pori wedi cynyddu cynnwys carbon organig yn y pridd, ni ellir yn hawdd allosod y canlyniadau i systemau ffermio eraill. Yn yr astudiaethau a gofnodwyd, rhoddwyd gwelliannau i arferion rheoli pori ar waith yn benodol am fod disgwyl iddynt fod yn fuddiol o dan yr amodau a oedd yn ymwneud yn benodol â phob safle. Hefyd, er bod yr amcangyfrif o gyfartaledd yn cynyddu yn achos cynnwys carbon yn y pridd, nid yw bob amser yn wir bod arferion rheoli pori wedi cynyddu cynnwys carbon yn y pridd.



Ffigur 16. Meintiau effeithiau taenu gwrtaith, calchu a phori ar stociau carbon organig yn y pridd (mae'r barrau yn cynrychioli cyfyngau hyder cymedrig o blws a minws 95%). (Ffynhonnell: Eze *et al.*, 2018).



Ffigur 17. Newidiadau yng nghynnwys carbon y pridd a achoswyd gan welliannau i arferion rheoli glaswelltir. Mae'r barrau yn cynrychioli'r cyfartaledd ym mhob astudiaeth sy'n cynnwys gwybodaeth am newidiadau yng nghynnwys carbon yn y pridd, mae barrau cyfeiliornad yn cynrychioli'r cyfeiliornadau safonol (SEs) a gyfrifwyd gan ddefnyddio'r dechneg feta-ddadansoddi ym mhob astudiaeth sy'n cynnwys gwybodaeth am y driniaeth a roddwyd i gyfeiliornadau safonol. Dangosir nifer yr astudiaethau a ddefnyddiwyd i gyfrifo'r cyfartaledd ar gyfer pob math o newid i arfer rheoli (Ffynhonnell: Conant *et al.*, 2017).

6.2.3 Pori a storio carbon

- Adolygodd Eze *et al.* (2018) a Conant *et al.* (2017) effaith pori ar gynnwys carbon organig yn y pridd; Nododd Eze *et al.* leihad mewn carbon organig yn y pridd ar bob lefel o bori gyda phori trymach yn arwain at fwy o ostyngiad na phori ysgafn. Mewn cymhariaeth, nododd Conant *et al.* (2017) fod gwella arferion rheoli pori (gan gynnwys cyfraddau stocio is, tymor pori byrrach) yn cynyddu carbon organig yn y pridd o gymharu ag arferion rheoli blaenorol.
- Mae cydberthynas gymhleth rhwng pori a dymneg carbon organig yn y pridd. Nodwyd bod gorburi a dim pori yn lleihau cynnwys carbon organig yn y pridd tra nodwyd bod pori ar lefelau stocio priodol (nas nodir bob amser) yn cynyddu carbon organig yn y pridd. Nododd Abdalla *et al.* (2018) fod effaith pori ar gynnwys carbon organig yn y pridd yn gymhleth iawn a'i bod yn dibynnu ar yr hinsawdd. Er enghraifft, mewn hinsoddau oer llaith (sef y categori mwyaf tebygol ar gyfer y rhan fwyaf o laswelltiroedd yng Nghymru), lleihaodd lefelau carbon organig yn y pridd gyda dwysedd pori.
- Mae pori yn cyflymu trosiant blynyddol egin, yn newid y ffordd y mae carbon organig yn cael ei daenu yn ysgarthion anifeiliaid ac yn ailddosbarthu carbon yn y system planhigion-pridd (e.e. Reeder a Schuman, 2002). Dangoswyd bod y biomas o dan y ddaear, biomas gwreiddiau marw a chynhyrchiant mân wreiddiau yn cynyddu ar safleoedd a borir o gymharu â safleoedd nas porir (Pucheta *et al.*, 2004).
- Mewn cymhariaeth, mae awduron eraill wedi dangos bod stociau carbon ym mhridd glaswelltiroedd yn lleihau os ydynt yn cael eu gorburi a'u torri'n llai aml a hefyd os nad ydynt yn cael eu pori o gwbl. Awgrymir y gallai gorburi arwain at golli carbon yn y pridd drwy leihau cynhyrchiant planhigion a mewnbynnau o weddillion (Conant a Paustian, 2002; Mestdagh *et al.*, 2006), neu at amlygu pridd moel a cholli carbon drwy erydiad (Evans, 1997). Ar y llaw arall, bydd

peidio â phori yn atal carbon rhag symud, yn lleihau twf gwreiddiau ffibrog ac, o ganlyniad, yn lleihau stociau cabron (Reeder a Schuman, 2002).

- Ar y cyfan, mae'r dystiolaeth o'r llenyddiaeth yn awgrymu, o dan y rhan fwyaf o amodau, y gall pori 'ysgafn' fod yn fuddiol o ran cynyddu cynnwys carbon ym mhriddoedd glaswelltiroedd.

6.2.4 Ychwanegiadau o dail organig a gwrtaith a storio carbon

- Cydnabyddir yn eang mai taenu deunyddiau organig ar dir yw un o'r ffyrdd mwyaf effeithiol o gynyddu lefelau carbon organig yn y pridd a gwella ansawdd pridd (Bhogal *et al.*, 2009, Powlson *et al.*, 2012, Johnson *et al.*, 2009). Gall ychwanegu gwrtaith gynyddu mewnbynnau carbon i'r pridd drwy gynyddu twf planhigion sy'n arwain at fewnbynnau cynyddol o ddeunydd organig o weddillion a gwreiddiau (Buckingham *et al.*, 2013).
- Nododd Bhogal *et al.*, (2018) ganlyniadau o rwydwaith o saith safle arbrofol a ymchwiliodd i'r effeithiau y mae taenu compost a gweddillion treuliad anerobig bwyd unwaith y flwyddyn (dros 3 blynedd o leiaf) yn eu cael ar ansawdd pridd o gymharu â thail buarth a slyri da byw. Roedd dau o'r safleoedd eisoes yn llwyfannau arbrofol yr oedd tail buarth, slyri da byw a chompost gwyrdd wedi'u taenu arnynt yn flaenorol ac roedd hyn yn golygu bod modd mesur effeithiau taenu deunyddiau organig dros dymor hwy (6–17 flynedd) ar briodweddau pridd. Dim ond ar ôl taenu deunyddiau organig swmpus (compost a thai buarth) dros yr hirdymor y gwelwyd cynnydd yng nghynnwys carbon organig yn y pridd. Roedd cynnydd yn lefelau carbon organig yn y pridd yn gysylltiedig â gwelliannau i briodweddau biolegol (biomas microbaidd) a ffisegol (swmpddwysedd is) pridd, er bod maint y gwelliant yn dibynnu ar ansawdd y deunydd organig a daenwyd (fel y'i pennir gan ei gynnwys lignin, sy'n ddangosydd o'r gallu i wrthsefyll dadelfennu). Ni allai taenu deunyddiau sy'n cynnwys lefelau isel o ddeunydd sych (gweddillion treuliad anerobig a slyri da byw) ond sicrhau gwelliant bach yng ngweithrediad biolegol a ffisegol pridd, am eu bod yn cynnwys llwythi bach o ddeunydd organig.
- Nododd Eze *et al.* (2018) a Conant *et al.*, (2017) gynnydd yn lefelau carbon organig yn y pridd a oedd yn amrywio o <1% i 12% ar ôl taenu gwrteithiau a deunyddiau organig. Ar y cyfan, nododd Eze *et al.* (2018) gynnydd o 7% yn stoc carbon organig yn y pridd ar ôl i wrtaith nitrogen gael ei daenu; a bod yn fanwl, cynyddodd amoniwm nitrad, amoniwm sylffad a chalsiwm nitrad stoc carbon organig yn y pridd +12.6%, +13.1% a +26.9%, yn y drefn honno, ond ni nodwyd unrhyw effeithiau sylweddol yn achos amoniwm clorid, wrea na photsiwm nitrad. Arweiniodd cyfraddau N isel at gynnydd ansylweddol (+0.3%) yn y stociau carbon organig yn y pridd tra arweiniodd cyfraddau N cymedrol a chyfraddau N uchel at gynnydd sylweddol o +5.2% a +13.3% (yn y drefn honno) yn y lefelau carbon organig yn y pridd. Mewn cymhariaeth, nododd Conant *et al.* (2017) fod lefelau carbon organig yn y pridd yn cynyddu o 3.44% i 3.85% ar ôl taenu gwrtaith (cynnydd o 12%, ar gyfartaledd), er nad yw'r awdurdod yn nodi'r math o wrtaith a gynhwyswyd yn y dadanosoddiad na'r gyfradd taenu. Nododd yr awduron hefyd fod taenu deunydd organig yn cynyddu cyfraddau dal a storio carbon yn y pridd 0.82 Mg C/ha/y flwyddyn, ar gyfartaledd, o gymharu â 0.54 Mg C/ha/y flwyddyn yn achos gwrtaith sachau.
- Mae'n bwysig nodi bod i ychwanegu gwrtaith sachau a deunyddiau organig oblygiadau o ran allyriadau nwyon tŷ gwydr eraill, yn enwedig ocsid nitraidd (gweler adran 7). Mae dull integredig o reoli maethynnau, sy'n ystyried y cyflenwad o faethynnau i'r pridd yn ogystal â maethynnau sydd ar gael i gnydau o ganlyniad i daenu tail, yn bwysig er mwyn sicrhau bod y gwrtaith sachau yn cyflenwi'r maint optimwm sydd ei angen ar y cnwd a dim mwy.

6.2.5 Calchu a storio carbon

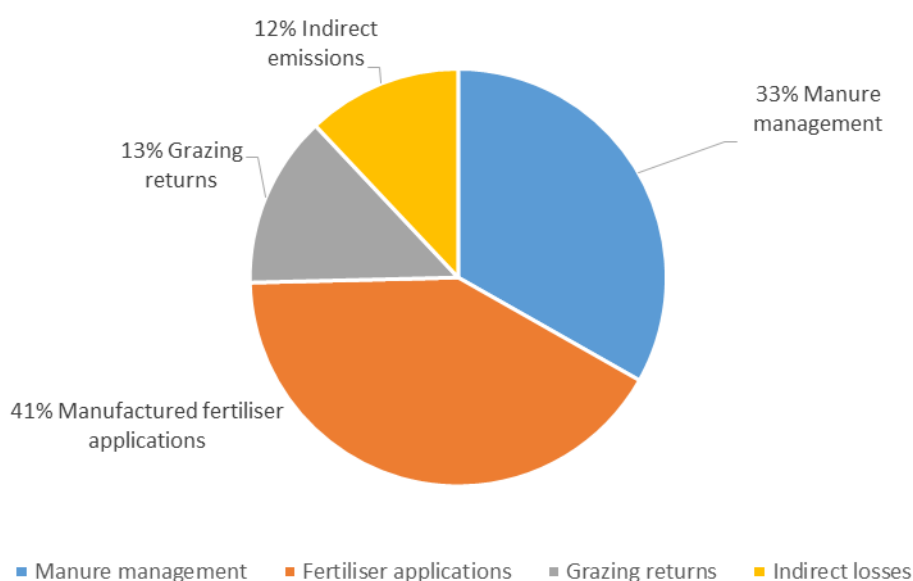
- Mesurodd Eze *et al.* (2018) gynnydd ansylweddol yn y stociau carbon organig yn y pridd, sef +6.8% a +2.8% ar gyfraddau taenu calch isel (<3 t/ha) ac uchel (>5 t/ha), yn y drefn honno. Ar y

llaw arall, arweiniodd cyfraddau taenu calch cymedrol (3-5 t/ha) ar gynnydd sylweddol (+14.1%) yn y stoc carbon yn y pridd. Yn yr un modd, nododd Paradelo *et al.* (2015) fod effaith ychwanegu calch (cyfraddau: <1 i 19 t/ha) ar gynnwys carbon organiog priddoedd mwynol yn amrywio (o arbrofion maes yn Ewrop, De a Gogledd America, Asia ac Awstralia ar briddoedd coedwigoedd, glaswelltir, a thir â'r a phriddoedd moel) a daethant i'r casgliad bod effeithiau calchu yn dibynnu'n fawr ar y cyd-destun. Daethant i'r casgliad nad oedd digon o dystiolaeth i ragfynegi effaith net calchu ar stociau carbon organig yn y pridd o dan wahanol amodau pridd/tywydd/defnydd tir.

- Mae gwaith ymchwil a wnaed yn Lloegr i laswelltir parhaol (Arbrawf Park Grass yn Rothamsted ar lôm clai gwaddodlyd) hefyd wedi awgrymu y gall calchu (4 t/ha bob pedair blynedd) gynyddu lefelau carbon organig yn y pridd (Fornara *et al.*, 2011). Roedd lefelau dal a storio carbon organig net a fesurwyd yn yr haen 0-23 cm rhwng dwywaith ac 20 gwaith yn fwy mewn priddoedd wedi'u calchu nag mewn priddoedd heb eu calchu. Priodolodd yr awduron hyn i lefel uwch o weithgarwch biolegol mewn priddoedd wedi'u calchu a oedd yn golygu, er gwaethaf cyfraddau resbiradu pridd uwch, fod mewnbynnau o garbon o blanhigion yn cael eu prosesu a'u hymgorffori mewn cronfeydd organo-fwynol gwrthsafol yn y pridd.

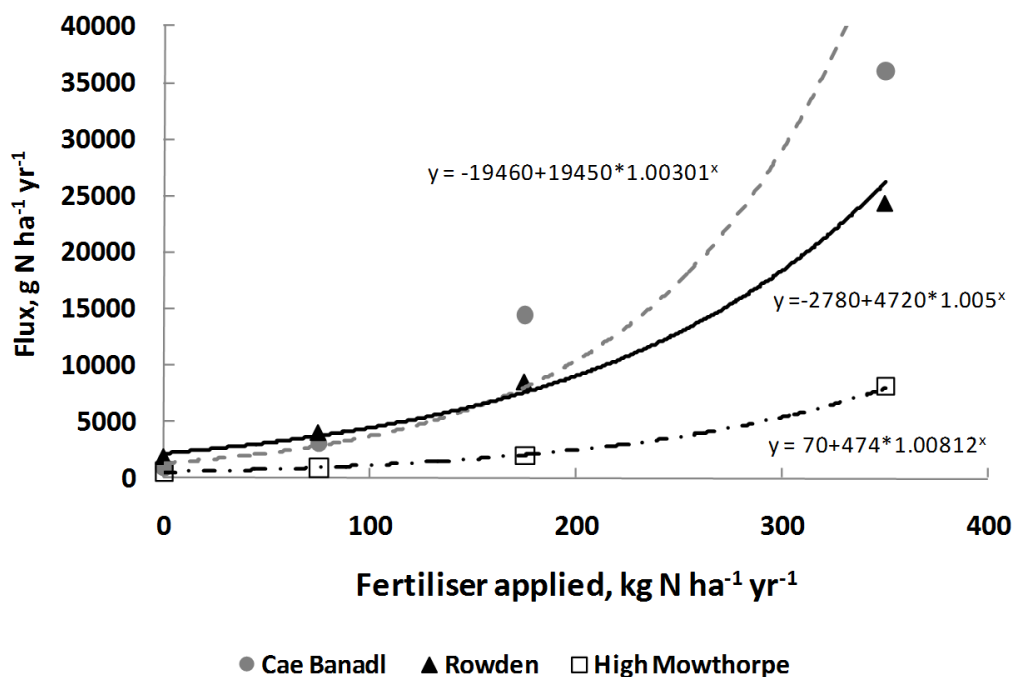
7 Lliniaru newid yn yr hinsawdd drwy leihau allyriadau nwyon tŷ gwydr o bridd

- Methan (CH_4) ac ocsid nitraidd (N_2O) yw'r prif allyriadau nwyon tŷ gwydr o'r sector amaethyddol yn cynnwys methan, gyda rhai allyriadau carbon deuocsid o'r defnydd o danwydd (ADAS *et al.*, 2014).
- Eplesu enterig yw prif ffynhonnell allyriadau methan amaethyddol a gynhyrchir gan dda byw cnoi cil (h.y. defaid a gwartheg) ac mae'n cyfrif am tua 60% o allyriadau nwyon tŷ gwydr o'r sector amaethyddol yng Nghymru.
- Cynhyrchir allyriadau ocsid nitraidd o bridd amaethyddol yn bennaf drwy brosesau nitreiddio a dadnitreiddio wedi'u cyfryngu'n ficrobaidd (Firestone a Davidson, 1989). Ymhlith y ffactorau sy'n rheoli faint o N_2O a allyrir mae cynnwys nitrogen mwynol yn y pridd (SMN), tymheredd y pridd, cynnwys lleithder y pridd (Dobbie a Smith, 2001, 2003) a ffynhonnell o garbon sydd ar gael (Weier *et al.*, 1993).



Ffigur 18. Cyfraniad gwahanol ffynonellau o nitrogen at allyriadau ocsid nitraidd yng Nghymru. Mae allyriadau ocsid nitraidd o'r ffynonellau hyn yn cyfrif am 20% o gyfanswm yr allyriadau nwyon tŷ gwydr o'r sector amaethyddol yng Nghymru.

- Amcangyfrifir bod allyriadau ocsid nitraidd o weithgarwch taenu gwrtaith nitrogen sachau, arferion rheoli tail a dychweliadau pori yn cyfrif am 20% o'r allyriadau nwyon tŷ gwydr o'r sector amaethyddol yng Nghymru, gydag allyriadau sy'n deillio o daenu gwrtaith nitrogen sachau yn gwneud y cyfraniad mwyaf (Ffigur 18). At hynny, caiff tua 3% o'r allyriadau nwyon tŷ gwydr o'r sector amaethyddol yng Nghymru eu hallyrru'n anuniongyrchol o briddoedd ar ôl i amonia wedi'i allyrru gael ei ailddyddodi ac o nitrad wedi'i drwytholchi (NAEI, 2019). Felly, er mwyn lleihau allyriadau N_2O sy'n gysylltiedig â phridd, mae hefyd yn bwysig lleihau'r potensial i amonia gael ei golli ac i nitrad gael ei drwytholchi.
- Am fod allyriadau ocsid nitraidd yn gysylltiedig â mewnbynnau o nitrogen o dail a gwrteithiau, caiff mwy o ocsid nitraidd ei allyrru pan fydd y cyflenwad o nitrogen yn fwy na'r hyn sydd ei angen ar gnydau (Ffigur 19; Cardenas *et al.*, 2010).



Ffigur 19. Effaith y gyfradd taenu gwrtaith nitrogen sachau ar allyriadau ocsid nitraidd ar 3 safle glaswelltir gwrthgyferbyniol (Cardenas *et al.*, 2010).

- Fel arfer, caiff tua 1% o fewnbynau o nitrogen ei golli drwy allyriadau ocsid nitraidd gyda maint y golled yn amrywio yn ôl ffynhonnell y mewnbwn o nitrogen ac amodau'r pridd a'r tywydd pan gafodd y gwrtaith ei daenu. Roedd meta-ddadansoddiad a gynhaliwyd gan Cowan *et al.* (2020) yn awgrymu mai gwrteithiau yn cynnwys amoniwm nitrad a oedd yn cynhyrchu'r ganran fwyaf o allyriadau (1.1%) gyda ffactorau allyrru yn amrywio o 1.0% a 1.2% o gyfanswm y nitrogen a daenwyd. Roedd allyriadau o ganlyniad i daenu gwrteithiau yn cynnwys amoniwm nitrad gryn dipyn yn is yn achos gwrteithiau a oedd wedi'u taenu ar gaeau â'r (0.6%) o gymharu â glaswelltiroedd (1.3%). Roedd ffactorau allyrru sy'n gysylltiedig ag wrea gryn dipyn yn is na gwrteithiau yn cynnwys amoniwm nitrad ar gyfer glaswelltiroedd gyda ffactor allyrru o 0.6 (0.5-0.7) %, ond ychydig yn uwch ar gyfer caeau â'r gyda ffactor allyrru o 0.7 (0.4-1.4) %.
- Amcangyfrifodd ADAS *et al.* (2014) y lleihad blyneddol mewn allyriadau nwyon tŷ gwydr o ganlyniad i fesurau lliniaru yn y sector amaethyddol mewn perthynas â'r llinell sylfaen ar gyfer Cymru (Tabl 2). Rhoddwyd sgôr i fesurau am y defnydd a oedd wedi'i wneud ohonynt (gan ddarparu ar gyfer mesurau a oedd eisoes wedi cael eu rhoi ar waith a rhwystrau strwythurol neu ymddygiadol) a chosteffeithiolrwydd (maint y cymhelliant economaidd i reolwyr tir eu rhoi ar waith, gan ddarparu ar gyfer mesurau presennol i gefnogi'r cyhoedd a dychweliadau i'r farchnad). Mae'r ddwy golofn olaf yn Nhabl 2 wedi'u huwchleuo'n goch, yn oren ac yn wyrdd (er mwyn dynodi sgorau isel, canolig ac uchel, yn y drefn honno). Ar y cyfan, roedd ADAS *et al.* (2014) yn awgrymu y byddai'n realistig cyllidebu ar gyfer lleihad net o 5-10% mewn allyriadau neu oddeutu 400 ktCO₂-eq y flwyddyn erbyn 2020. Mae hyn yn adlewyrchu'r ffaith na chaiff pob un o'r mesurau eu mabwysiadu i'r un graddau, sy'n adlewyrchu argaeledd a chosteffeithiolrwydd pob dull.

Tabl 2. Mesurau lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr ar gyfer amaethyddiaeth gynhyrchol yng Nghymru (Ffynhonnell: ADAS *et al.*, 2014).

Mitigation measure	Abatement rate	Annual Abatement ktCO ₂ e MTP	Applicability (uptake available)	Cost effectiveness of measure*
High genetic merit livestock	10% of enteric emissions	229	Medium	High
Improved animal nutrition	10% of enteric emissions	229	High	Medium
Improved animal health	10% of enteric emissions	229	High	Medium
High sugar grasses	10% of enteric emissions	229	Medium	Medium
Nitrification inhibitors for fertiliser and organic manures	30-50% reduction in N ₂ O	432	High	Low
Calibrate fertiliser spreader	<5% reduction in N ₂ O	35	Medium	High
Calibrate manure spreaders	5-10% reduction in N ₂ O	28	Medium	High
Adopt fertiliser recommendation system	5-10% reduction in N ₂ O	53	Medium	High
Adopt a manure management plan	15-20% reduction in N ₂ O	81	Medium	High
Use of crop varieties with improved N use efficiency	5-10% reduction in N ₂ O	53	Low	Medium
Substitute fertiliser N with legume-fixed N	10% reduction in fertiliser N use	71	Medium	High
Improve N availability of manures	2% reduction in N ₂ O from fertiliser use	15	Medium	High
Controlled release fertilisers for high value arable crops	0.3 tCO ₂ e/ha	9	Low	Medium
Precision application – crops	5% reduction in N fertiliser use on Welsh cropland	5	Low	Medium

*Mae costeffeithiolrwydd uchel yn cynrychioli elw da i reolwyr tir.

**Nid yw pob un o'r mesurau lliniaru yn ychwanegol ac mae angen ystyried rhyngweithio a chyfrif dwbl.

7.1 Cynllunio rheoli maetholion

- Mae a wnelo'r mwyafrif o'r dulliau mwyaf costeffeithiol o leihau allyriadau N₂O o briddoedd yn Nhabl 2 â chynllunio rheoli maethynnau, h.y. calibradu taenwyr gwrtaith neu dail, defnyddio system argymell gwrtaith a mabwysiadu cynllun rheoli tail. Bydd sicrhau'r mewnbynnau gorau posibl o nitrogen o wrteithiau sachau a deunyddiau organig yn lleihau'r angen i daenu gwrtaith sachau er mwyn cyflenwi'r maint optimwm sydd ei angen ar gnydau. Mae sicrhau'r mewnbynnau gorau posibl o faethynnau yn lleihau allyriadau a gynhyrchir gan wrtaith ac o allyriadau ocsid nitraidd uniongyrchol ac anuniongyrchol o briddoedd.
- Mae gwaith cynllunio effeithiol i reoli maethynnau yn cynnwys defnyddio maethynnau (naill ai gwrtaith neu dail organig) yn seiliedig ar yr hyn sydd ei angen ar y cnwd. Mae'r dull hwn o weithredu yn sicrhau bod maethynnau yn cael eu defnyddio'n effeithlon ar y fferm a dim ond pan fo'u hangen. Mae hefyd angen sicrhau'r cyflenwad gorau posibl o'r holl faethynnau mawr a

mân yn ogystal â chynnal y lefel orau posibl o pH yn y pridd a sicrhau bod strwythur y pridd yn y cyflwr gorau posibl er mwyn sicrhau bod cynydau yn defnyddio nitrogen yn effeithlon a lleihau swm y nitrogen yn y pridd sydd ar gael i'w drawsnewid yn N_2O neu sy'n peri risg o drwytholchi nitrad.

- Mae gwybodaeth o Arolwg Arferion Ffermio Cymru yn 2012 yn awgrymu bod gan 43% o ffermwyr gynllun ar gyfer rheoli maethynnau pridd (Anthony *et al.*, 2012). Mewn cymhariaeth, yn 2019, roedd gan 58% o ddaliadau yn Lloegr gynllun rheoli maethynnau (Defra, 2019a). Mae'n debygol bod y gwahaniaeth yn adlewyrchu'r systemau glaswelltir pori helaethach yng Nghymru, lle mae cynllun rheoli maethynnau yn llai perthnasol.
- Mae pedwar cam allweddol i'r broses o gynllunio maethynnau y dylid eu dilyn er mwyn sicrhau y gwneir y defnydd mwyaf effeithlon o faethynnau a lleihau'r risg bosibl y caiff maethynnau eu colli i'r amgylchedd: 1) mesur faint o faethynnau sydd eu hangen ar y cnwd, 2) mesur faint o faethynnau a gyflenwir gan y pridd, 3) mesur cynnwys maethynnau unrhyw ddeunyddiau organig (e.e. tail da byw, biosolidau, gweddillion treuliad anerobig ac ati) a 4) cyfrif am y maethynnau a gyflenwir gan ddeunyddiau organig wrth gynllunio ychwanegiadau gwrtaith sachau (Williams *et al.*, 2019). Trafodir y rhain yn fanylach isod.
 1. *Mesur faint o faethynnau sydd eu hangen ar y cnwd*: Cydnabyddir Canllaw Rheoli Maethynnau AHDB (RB209) fel system argymhell gwrteithiau safonol y diwydiant ar gyfer helpu i gynllunio rheoli maethynnau yng Nghymru. Mae'n rhoi canllawiau cynhwysfawr ar y maethynnau sydd eu hangen er mwyn cynhyrchu'r cynydau gorau posibl yn effeithlon. Cyhoeddwyd yr argymhellion ynghylch gwrtaith gyntaf yn y 1970au a chyhoeddwyd y fersiwn ddiweddaraf yn 2017 yn seiliedig ar gyfres o adolygiadau a arweiniwyd gan ADAS yn 2016 (e.e. Newell Price *et al.*, 2016). Mae'r maethynnau sydd eu hangen ar gnydau yn amrywio yn ôl y rhywogaeth (ac weithiau'r amrywiaeth o gnwd) ac yn adlewyrchu'r math o bridd a glawiad dros y gaeaf.
 2. *Mesur faint o faethynnau a gyflenwir gan y pridd*: Yn y rhan fwyaf o sefyllfaoedd, gellir asesu faint o nitrogen a gyflenwir gan y pridd drwy ddefnyddio gwybodaeth am y math o bridd, glawiad arferol dros y gaeaf (er mwyn asesu colledion drwy drwytholchi), nitrogen a rhyddheir o weddillion cynydau a'r defnydd blaenorol o wrtaith nitrogen a thail. O dan amgylchiadau lle mae arferion rheoli blaenorol wedi bod yn rhai anarferol, gall samplu pridd hyd at 90 cm fod yn fwy effeithiol i fesur faint o nitrogen sy'n cael ei gyflenwi gan y pridd ar gaeau â'r. Cydnabyddir mai dadansoddi pridd wyneb (0-15 cm ar dir â'r 0-7.5 cm ar laswellt) yw'r ffordd fwyaf effeithiol o fesur statws pH y pridd a chynnwys ffosfforws, potasiwm a magnesiwm tynadwy. Fel arfer, rheolir pH pridd, ffosffad, potash a magnesiwm ar gyfer cylchdro yn hytrach na chnwd unigol ac, felly, argymhellir y dylid dadansoddi'r pridd bob 3-5 mlynedd.
 3. *Mesur faint o faethynnau a gyflenwir gan ddeunyddiau organig*: Mae deall cynnwys maethynnau deunyddiau organig a mesur cyfraddau taenu yn hanfodol er mwyn gwneud y defnydd gorau o faethynnau tail. Bydd cynnwys maethynnau deunyddiau organig yn dibynnu ar sawl ffactor. Yn achos tail da byw, mae'r prif benderfyniadau yn cynnwys y math o dda byw, y gyfundrefn fwydo, deiet, i ba raddau y mae'n cael ei wanhau wrth gael ei storio a faint o sarn a ddefnyddir. Mae ffynhonnell y deunyddiau porthiant yn ffactor pwysig yn achos gweddillion treuliad anerobig a chompostau ac mae'r prosesau trin yn ffactor pwysig yn achos biosolidau. Ceir ffigurau nodweddiadol ar gyfer cynnwys maethynnau deunyddiau organig yng Nghanllaw Rheoli Maethynnau AHDB (2017). Fodd bynnag, gall gwaith dadansoddi mewn labordy roi asesiad mwy cywir o gynnwys maethynnau deunyddiau organig o ffynhonnell benodol.

4. *Cyfrir am faethynnau tail wrth gynllunio taenu gwrtaith sachau:* Gellir cyfrifo'r cyflenwad o faethynnau sydd ar gael i gnwd o amseriadau a dulliau taenu tail gwrthgyferbyniol drwy ddefnyddio adnodd cymorth penderfynu MANNER-NPK neu drwy gyfeirio at Ganllaw Rheoli Maethynnau AHDB. Mae'n bwysig cyfrif am y maethynnau a gyflenwir gan y tail wrth gyfrifo cyfraddau taenu gwrtaith sachau er mwyn sicrhau na chyflenwir mwy o faethynnau nag sydd eu hangen ar y cnwd ac na chaiff y risg o golli maethynnau i'r amgylchedd ei chynyddu. Mae'r dull o integreiddio maethynnau gwrtaith a thail er mwyn sicrhau'r lefelau gorau posibl o dwf planhigion hefyd yn cael ei ddefnyddio mewn systemau rheoli maethynnau cyfrifiadurol megis PLANET (www.planet4farmers.co.uk) ac adnoddau meddalwedd eraill a gynhyrchir gan gwmnïau meddalwedd masnachol megis FarmPlan a Muddyboots.

7.2 Gwella cywirdeb prosesau taenu maethynnau

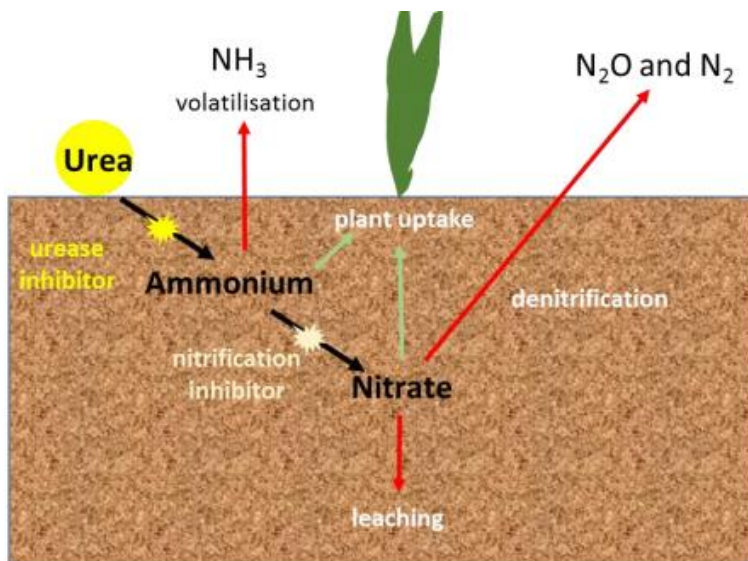
- Mae calibradu taenwyr gwrtaith a thail yn sicrhau y caiff y swm cywir o wrtaith ei daenu ac mai'r patrwm taenu yw'r un gorau ar gyfer maeth cynyddu. Mae calibradu taenwyr gwrtaith a thail yn rheolaidd (bob blwyddyn) yn debygol o sicrhau bod nitrogen o wrtaith nitrogen a'r defnydd o adnoddau organig yn cael ei ddefnyddio'n fwy effeithlon drwy ei ddosbarthu'n fwy cyson. Bydd hyn yn lleihau allyriadau N_2O sy'n deillio o 'orgyffwrdd' rhwng llwythi nitrogen, sy'n debygol o fod yn fwy, ar gyfartaledd, os bydd llwythi nitrogen lleol yn fwy na'r hyn sydd ei angen ar y cnwd (ADAS *et al.*, 2014). Fodd bynnag, mae data i ffermwyr ym Mhrydain (2018) yn awgrymu bod tua 40% o ffermwyr â thaenwr gwrtaith yn gwirio calibrad eu taenwyr gwrtaith bob blwyddyn gan ddefnyddio bocsys dal, fod 18% yn ei wirio'n llai nag unwaith y flwyddyn, ac nad yw 20% erioed wedi gwirio patrymau taenu fel hyn (BSFP, 2019).
- Gall arferion amaethyddol manwl gywir sicrhau'r mewnbynnau gorau posibl o faethynnau, drwy ddefnyddio technegau sy'n darparu ar gyfer amrywioldeb mewn cae (Balafoutis *et al.*, 2017). Mae dulliau eraill yn cynnwys ffermio gan reoli traffig, sy'n cyfyngu'r holl beirianwaith i'r arwynebedd lleiaf posibl o lonydd traffig parhaol a dyfeisiau llywio peiriannau (e.e. cymorth gyrrwr neu awto-lywir). Mae'r dulliau hyn yn cyfyngu'r defnydd o dractorau i'r tramwyfeydd angenrheidiol drwy'r caeau yn unig, gan osgoi gorgyffwrdd sy'n lleihau'r defnydd o fewnbynnau amaethyddol a thanwydd (sydd yn ei dro yn lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr a chost cynhyrchu).
- Mae systemau taenu manwl gywir megis 'trailing shoe', pibellau llusg a chwistrellu bas yn effeithiol wrth gynyddu'r cyflenwad o nitrogen sydd ar gael i'r cnwd o ddeunyddiau organig hylifol (h.y. slyri da byw a gweddillion treuliad anerobig sydd wedi'u taenu) drwy leihau allyriadau amonia rhwng 30-70% o gymharu â thechnegau taenu ar yr wyneb confensiynol. Mae'r technegau taenu hefyd yn sicrhau bod gwrtaith yn cael ei daenu'n gyfartal ar draws lledau bowtiau hysbys gan leihau amrywioldeb yn y cyflenwad o faethynnau. Mae gweithwyr wedi ymchwilio i b'un a yw technegau taenu tail sy'n lleihau allyriadau amonia yn arwain at gyfnewid llygredd drwy gynyddu allyriadau ocsid nitraidd. Awgrymodd adolygiad a gynhaliwyd gan Chadwick *et al.* (2011) fod cyflwr y pridd ar adeg taenu'r gwrtaith yn bwysicach na'r dull taenu o ran rheoli allyriadau ocsid nitraidd, gyda mwy o golledion yn deillio o briddoedd cynnes a gwlyb.

7.3 Atalyddion nitreiddio

- Mae atalyddion nitreiddio yn cynnig y potensial i leihau allyriadau N_2O sy'n deillio o daenu gwrteithiau nitrogen sachau a thail organig ar briddoedd amaethyddol (de Klein ac Eckard 2008). Mae atalyddion nitreiddio yn arafu cam cyntaf y broses nitreiddio, y broses o drawsnewid amoniwm (NH_4^+) yn nitraid ac, felly, yn nitrad (NO_3^-), drwy ddadactifadu'r ensym

cyfrifol (Amberger, 1989) (Ffigur 20). Mae llawer o gemegion wedi'u profi fel atalyddion nitreiddio, ond dim ond rhai ohonynt sydd ar gael yn fasnachol. O'r cemegion hyn deusyandiamid (DCD) and 3, 4-deufethylpyrasol ffosffad (DMPP) yw'r rhai mwyaf cyffredin.

- Roedd y diddordeb cychwynnol mewn atalyddion nitreiddio yn ymwneud yn bennaf â lleihau NO_3^- a gollir drwy drwytholchi ar ôl taenu gwrtaith nitrogen neu slyri da byw neu ddychweliadau wrin o dda byw sy'n pori, am fod nitrogen yn cael ei gadw ar wynebaw cyfnewid pridd ar ffurf NH_4^+ yn hytrach nag wedi'i drwytholchi fel NO_3^- (Misselbrook *et al.*, 2014). Fodd bynnag, caiff allyriadau N_2O o brosesau nitreiddio a dadnitreiddio eu lleihau hefyd gan atalyddion nitreiddio, sy'n cynig strategaeth liniaru bosibl ar gyfer allyriadau nwyon tŷ gwydr o'r sector amaethyddol (Misselbrook *et al.*, 2014).
- Crynhodd Misselbrook *et al.* (2014) y canlyniadau o raglen ymchwil yn y DU a oedd yn cynnwys 14 o arbrofion (prosiect Defra AC0213) lle yr ymchwiliwyd i effaith atalyddion nitreiddio ar golledion amonia ac ocsid nitraidd a cholledion nitrad drwy drwytholchi a chynnyrch cynydau, ar ôl taenu gwrtaith sachau neu ddychweliadau pori (h.y. wrin a thail). Nodwyd ganddynt, er y gallai'r atalydd nitreiddio DCD fod yn effeithiol wrth leihau allyriadau N_2O , nad oedd yn cael fawr ddim effaith o ran anweddu NH_3 , colledion NO_3 drwy drwytholchi, cynnyrch cynydau na faint o nitrogen a gymerir gan gnydau. Yn seiliedig ar y canlyniadau o ran mesurau effeithlonrwydd sy'n lleihau allyriadau o 14 o arbrofion maes a gynhaliwyd yn Lloegr, daethpwyd i'r casgliad bod 'an approximate 20% reduction in N_2O emissions from UK agriculture is technically feasible with little risk of increasing NH_3 emissions'. Fodd bynnag, mae rheoli allyriadau N_2O o laswelltir sy'n cael ei bori, yn enwedig systemau ucheldir sy'n defnyddio atalyddion nitreiddio, yn her.



Ffigur 20. Diagram o gylch nitrogen a dull gweithredu atalyddion nitreiddio ac atalyddion wreas (Ffynhonnell: Ffermio Sensitif i Ddalgyrch Afon).

7.4 Atalyddion wreas

- O ganlyniad uniongyrchol i'r risg uwch i iechyd pobl, mae'r Strategaeth Aer Glân yn awgrymu y bydd Defra, o bosibl, yn deddfu ar y defnydd o wrtaith sy'n cynnwys wrea er mwyn lleihau allyriadau amonia (mae colledion amonia o wrea wedi cynyddu i 45% o gymharu ag oddeutu 2% o wrteithiau amoniwm nitrad. Hyd yn oed os na ddaw'n orfodol, mae'n debygol y bydd pwysau cynyddol i leihau allyriadau amonia o'r sector amaethyddol.

- Wrea yw un o'r gwrteithiau nitrogen a ddefnyddir fwyaf ledled y byd. Fodd bynnag, er gwaethaf y defnydd eang a wneir ohono, mae pryderon amgylcheddol oherwydd allyriadau amonia ac ocsid nitraidd ar ôl iddo gael ei daenu. Mae wreas yn ensym sy'n ddibynnol ar nicel sy'n catalyddu hydrolysis wrea yn ddau fôl o amonia (NH_3) ac yn un môl o garbon deuocsid (CO_2) (Modolo *et al.*, 2018).
- Mae atalyddion wreas yn gyfansoddion sy'n atal gweithgarwch ensym wreas, gan arafu'r broses o drawsnewid wrea yn amonia (Ffigur 20). Bydd y cyfansoddion yn diraddio yn y pridd dros amser (yn dibynnu ar ffactorau sy'n cynnwys y tymheredd a lleithder) ac, felly, yn peri oedi i'r broses drawsnewid yn hytrach na'i hatal yn gyfan gwbl. Dangosodd gwaith ymchwil a ariannwyd gan Defra ac a gynhaliwyd ar sawl safle yn Lloegr, fod allyriadau amonia wedi lleihau >70% pan ddefnyddiwyd yr atalydd wreas NBPT gydag wrea, o gymharu ag allyriadau o wrea yn unig (Chadwick *et al.*, 2005).
- Gall y nitrogen ychwanegol sy'n dal i fod yn y pridd gael ei ddefnyddio gan y cnwd a gall y broses arafach o drawsnewid y nitrogen hwn o wrea yn amoniwm gyd-fynd yn well â'r hyn sydd ei angen ar y cnwd, gan sicrhau bod y nitrogen yn cael ei ddefnyddio'n fwy effeithlon o gymharu ag wrea ar ei ben ei hun. Gall cynnwys atalydd nitreiddio hefyd sicrhau bod nitrogen yn cael ei ddefnyddio'n fwy effeithlon fyth drwy leihau colledion nitradau drwy ddadnitreiddio a thrwytholchi.

7.5 Sicrhau bod mwy o nitrogen ar gael mewn tail

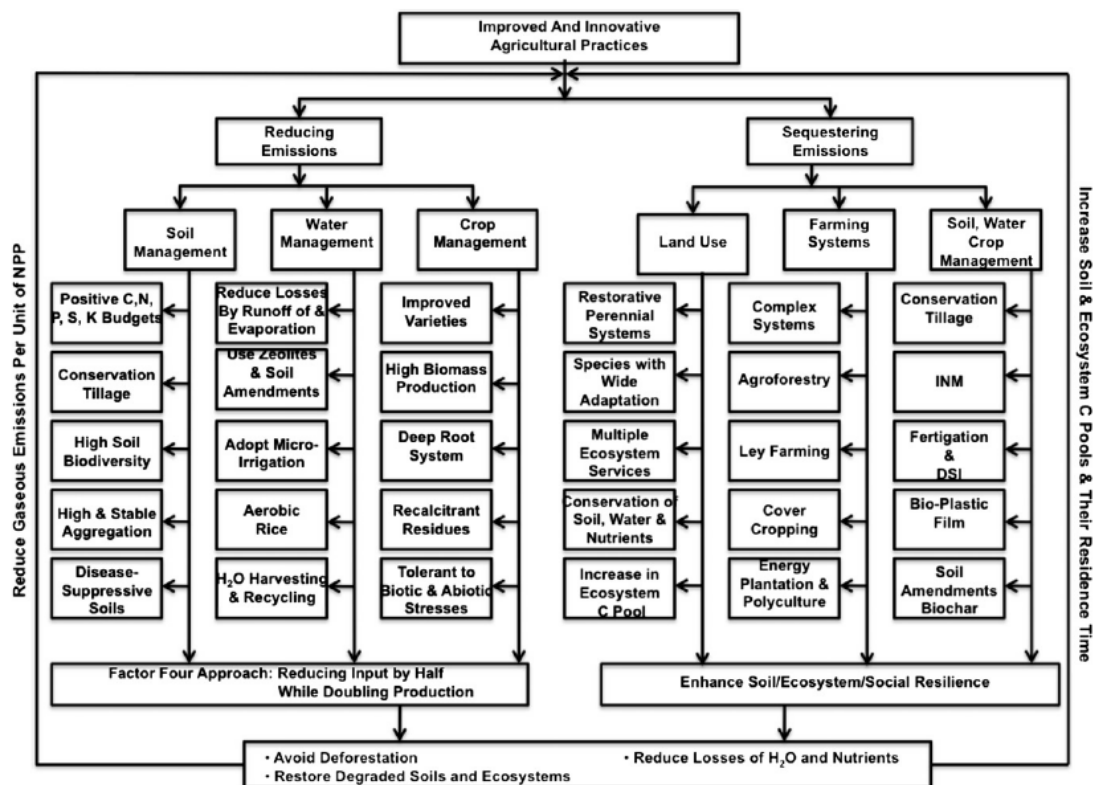
- Amcangyfrifodd ADAS *et al.* (2014) y gallai newidiadau i arferion rheoli tail megis amseriadau taenu yn y gwanwyn (er mwyn lleihau colledion nitradau drwy drwytholchi), ymgorffori tail solet a hylifol mewn pridd yn gyflym a defnyddio technegau taenu manwl gywir i daenu deunydd organig hylifol, leihau cyfanswm y mewnbynnau o nitrogen i'r sector amaethyddol yng Nghymru tua 1,500 t y flwyddyn. Amcangyfrifwyd y byddai'r lleihad amcangyfrifedig mewn mewnbynnau o nitrogen o wrtaith sachau a fyddai'n deillio o wella effeithlonrwydd nitrogen tail yn lleihau allyriadau N_2O uniongyrchol ac anuniongyrchol o bridd tua 2% (sy'n cyfateb i oddeutu 50 tonnall o N_2O neu 15 K tCO_{2-eq}).

8 Arferion amaethyddol presennol, newydd ac arloesol ar gyfer cynyddu cynnwys carbon organig priddoedd amaethyddol sy'n cael eu troi yng Nghymru neu sicrhau bod cyn lleied o gynnwys carbon organig â phosibl yn cael ei golli.

- Yn ôl Lal (2004), mae cronni llawer o ddeunydd organig yn cael ei ffafrio gan systemau rheoli sy'n ychwanegu llawer iawn o fïomas at y pridd, sy'n tarfu cyn lleied â phosibl ar y pridd, yn gwella strwythur y pridd, yn gwella gweithgareddau ac amrywiaeth rhywogaethau ac yn atgyfnerthu systemau cylchu maethynnau. Nodweddir y fath lefel isel o darfu, mewnbyn carbon uchel (e.e. gweddillion a gwreiddiau) a chynnwys deunydd organig gan briddoedd glaswelltir parhaol a phori garw sydd fwyaf cyffredin yng Nghymru (>80% o'r tir amaethyddol) a phriddoedd coetir (tua 12% o arwynebedd Cymru). Felly, bydd y rhan fwyaf o briddoedd yng Nghymru yn wynebu risg isel o golli deunydd organig.
- Yn achos y lleiafrif o briddoedd yng Nghymru sydd mewn systemau âr (gan gynnwys glaswelltiroedd <5 oed), mae'r risg o golli deunydd organig yn llawer uwch, gan fod colli deunydd organig yn cael ei ysgogi gan darfu ar y pridd, sy'n golygu bod mwy o garbon mewn deunydd organig yn cael ei ocsideiddio, a thrwy leihau'r deunydd organig sy'n cael ei gronni neu ei dynnu o'r pridd (efallai na chaiff gweddillion cnydau eu dychwelyd i'r pridd felly mae lefelau'n lleihau). Ar gyfer Ewrop, amcangyfrifwyd bod troi glaswelltir yn dir âr yn lleihau lefelau carbon organig yn y pridd tua 1-1.7 t C/ha/y flwyddyn (Freibauer *et al.*, 2004). Felly, er mwyn cynnal ac (o bosibl) wella cynnwys carbon organig priddoedd âr, mae'n hanfodol bod arferion rheoli yn tarfu cyn lleied â phosibl ar y pridd ac yn sicrhau'r mewnbynnau mwyaf posibl o ddeunydd organig.

8.1 Arferion rheoli presennol ar gyfer deunydd organig yn y pridd mewn systemau âr

- Gall arferion rheoli ar gyfer systemau âr naill ai ddiogelu, cynnal neu gynyddu deunydd organig y pridd ar gyfer ansawdd/ffrwythlondeb y pridd neu gynyddu lefelau deunydd organig yn y pridd ar gyfer storio carbon yn y pridd a lliniaru newid yn yr hinsawdd. Mae arferion sy'n cynyddu lefelau deunydd organig yn y pridd yn debygol o fod o fudd i briodweddau eraill y pridd megis gwella sefydlogrwydd strwythurol pridd, ei allu i ddal dŵr ac argaeledd maethynnau cnydau. Bydd cynyddu a chynnal lefelau deunydd organig yn y pridd hefyd yn lleihau risg y caiff ei erydu gan ddŵr a'r gwynt.
- Gellir dosbarthu'r dulliau mwyaf effeithiol o gynyddu deunyddiau organig yn y pridd, yn fras, i'r categorïau canlynol: newid defnydd tir (e.e. troi tir âr yn laswelltir parhaol), lleihau erydiad pridd, newidiadau i arferion trin tir/amaethu (e.e. llai o drin tir neu ddim trin) a mwy o ychwanegiadau/dychweliadau deunydd organig.
- Adolygodd Lal (2011) arferion i ddal a storio carbon mewn pridd ac awgrymodd mai'r strategaethau gorau ar gyfer systemau âr oedd mabwysiadu ffermio 'dim trin' ac ymgorffori cnydau, defnyddio cnydau gorchudd, rheoli maethynnau mewn ffordd integredig (gan gynnwys defnyddio tail organig) a gwella strwythur a thrwch y pridd; nodir elfennau'r strategaeth hon yn Ffigur 21, isod.
- Yn fwy diweddar, grwpiodd Alison *et al.* (2019b) arferion rheoli ar gyfer cynyddu deunydd organig y pridd mewn tri chategori, sef: 1) wedi'i dreialu'n dda a'i brofi, heb unrhyw anfanteision, 2) Tystiolaeth gyfyngedig a rhai cyfaddawdau a 3) Potensial ymarferol cyfyngedig, manteision bach yn deillio o gyfaddawdau sylweddol. Awgrymodd yr awduron mai'r arferion rheoli gorau (h.y. y rhai sydd wedi'u dosbarthu i'r categori cyntaf) ar gyfer tir âr oedd plannu cnydau gorchudd a throi tir âr yn laswelltir.



Ffigur 21. Opsiynau technolegol i leihau allyriadau a dal a storio carbon o systemau amaethyddol (Ffynhonnell: Lal, 2011).

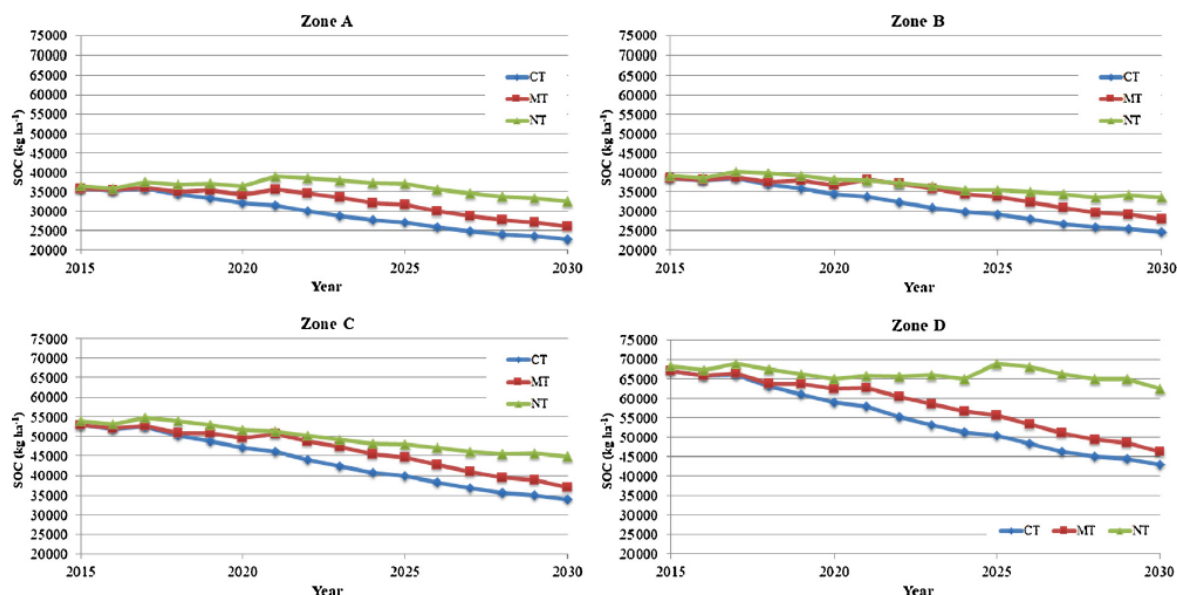
8.1.1 Newid defnydd tir

- Troi tir âr yn laswelltir parhaol ac yn goetir yw'r dull mwyaf effeithiol o gynyddu cynnwys carbon organig yn y pridd am ei fod yn osgoi'r amaethu mynych sydd, o dan gnydau âr, yn ysgogi mwyneddio deunydd organig. Fodd bynnag, mae rhoi'r gorau i dyfu cnydau âr ar dir yn debygol o leihau cynhyrchiant ffermydd ac felly incwm ffermydd. Amcangyfrifodd Newell Price *et al.* (2011) y byddai troi tua 10% o dir âr yn laswelltir dwysedd isel yn lleihau incwm fferm tua £200/y flwyddyn ar fferm laeth gyffredin a £35,000 ar fferm sy'n tyfu gwreiddgnydau a chnydau combein yn bennaf. Rhagwelodd yr awduron hefyd y byddai troi tir âr yn laswelltir heb wrtaith yn lleihau colledion nitradau ac amoniwm i ddŵr 90% gyda gostyngiadau tebyg mewn allyriadau amonia ac ocsid nitradd. Rhagwelwyd hefyd y byddai troi tir âr yn laswelltir yn lleihau gronynnau P ac y byddai colledion gwaddod cysylltiedig mewn dŵr ffo wyneb yn lleihau tua 50%.

8.1.2 Trin tir at ddibenion cadwraeth

- Mae arferion trin tir confensiynol, a nodweddir gan droi'r haenau o bridd drwy aredig, yn achosi i ddeunydd organig yn y pridd gael ei fwyneiddio'n gyflym, sy'n rhyddhau carbon deuocsid i'r atmosffer. Mae systemau bas-droi'r tir a dim trin wedi'u hyrwyddo fel dulliau o gynyddu cynnwys carbon yn y pridd am eu bod yn tarfu'n llai ar y pridd na dulliau aredig confensiynol.
- Defnyddiodd Cillis *et al.* (2018) efelychiadau model SALUS i astudio'r newid mewn carbon organig yn y pridd dros gyfnod o 15 mlynedd ar gyfer pedwar parth (a nodweddir gan botensial cynhyrchiol cynyddol o A i D); ym mhob achos, awgrymodd y rhagfynegiadau wedi'u modelu y byddai mwy o garbon organig yn y pridd yn cael ei golli ar ôl iddo gael ei droi gan ddefnyddio

dulliau confensiynol nag a gollid wrth ddefnyddio systemau bas-droi'r tir neu ddim trin (Ffigur 22).



Ffigur 22. Y newid yng nghynnwys carbon organig yn y pridd mewn haen 0-0.4 m o bridd dros 15 mlynedd (2015-2030) mewn pedwar parth (a nodweddir gan botensial cynhyrchio cynyddol o A i D); gan ddilyn arferion troi tir confensiynol, bas-droi'r tir a dim trin.

- Nododd meta-ddadansoddiad diweddar fod dulliau confensiynol o drin tir yn cynyddu lefelau carbon organig yn y pridd tua 5%, ar gyfartaledd, gydag effeithiau mwy cadarnhaol y dechnege rheoli dim trin yn cael eu gweld mewn rhanbarthau a nodweddir gan hinsawdd gynnes (15%) neu fewnbynnau is o wrtaith nitrogen (Bai *et al.*, 2019). Fodd bynnag, cofnododd adolygiad gan Powlson *et al.*, (2014) gryn dipyn o dystiolaeth a oedd yn awgrymu mai bach oedd y cynnydd yng nghynnwys carbon yn y pridd o dan systemau dim trin a bas-droi'r pridd. Gwnaethant nodi hefyd fod y cynnydd ymddangosiadol yng nghynnwys carbon pridd wyneb yn deillio o wahaniaethau yn nosbarthiad carbon yn y pridd o dan systemau lle mae'r tir yn cael ei aredig o gymharu â systemau bas-droi'r tir a dim trin. Awgrymodd yr awduron fod y system dim trin yn fuddiol i ansawdd y pridd ond bod ei rôl o ran storio carbon a lliniaru newid yn yr hinsawdd wedi'i gorbwysleisio.
- Defnyddiodd Luo *et al.* (2010) feta-ddadansoddiad o ddata o 69 o arbrofion wedi'u paru ledled y byd i ymchwilio i newidiadau yn lefelau carbon organig yn y pridd a ddeilliodd o newid o systemau aredig confensiynol i system dim trin. Nodwyd ganddynt fod trin priddoedd naturiol am fwy na 5 mlynedd yn arwain at golli mwy nag 20 t/ha o garbon yn y pridd ac nad oedd unrhyw wahaniaeth mawr rhwng systemau trin tir confensiynol a'r system dim trin. Yn sgîl newid o systemau trin tir confensiynol i system dim trin, newidiodd ddosbarthiad carbon yn y pridd yn sylweddol ond ni chynyddodd cyfanswm y carbon organig yn y pridd ac eithrio mewn systemau lle mae dau gnwd yn cael eu tyfu bob blwyddyn. Ar ôl mabwysiadu system dim trin, cynyddodd lefelau carbon yn y pridd 3.15 ± 2.42 t/ha (cyfng hyder cymedrig o $\pm 95\%$) yn 10 cm uchaf y pridd, ond gwnaethant ostwng 3.30 ± 1.61 t/ha yn yr haen 20–40 cm o bridd. Ar y cyfan, nid oedd mabwysiadu system dim trin yn cynyddu cyfanswm y stoc carbon yn y pridd hyd at ddyfnder o 40 cm.

8.1.3 Mewnbynnau o ddeunydd organig

- Ymhlith yr arferion sy'n diogelu ac yn cynnal deunydd organig mewn priddoedd â'r mae: tyfu cnydau tail gwyrdd, cnydau porthiant a chnydau gorchudd; taenu tail anifeiliaid neu gompost ac ymgorffori gwellt a gweddillion cnydau eraill yn y pridd (Bhogal *et al.*, 2009).
- Mae taenu deunyddiau organig yn ymarferol pan fo cyflenwad digonol ar gael a lle mae'r gost yn debygol o fod yn fach; gellir gwneud rhai arbedion cost drwy ddefnyddio llai o wrtaith sachau. Mae'r systemau ar gyfer cynyddu lefelau carbon organig yn y pridd yn defnyddio mewnbynnau uniongyrchol o garbon yn bennaf ond maent hefyd yn dibynnu ar gynhyrchu lefelau uwch o fiomas drwy ychwanegu maethynnau a gwella priodweddau bioffisegol y pridd (Bhogal *et al.*, 2009).
- Fodd bynnag, mae defnyddio deunyddiau organig swmpus dro ar ôl tro (e.e. tail buarth, tail dofednod a biosolidau) yn debygol o arwain at lefelau uwch o ffosfforws yn y pridd gan fod y lefelau a gyflenwir gan y tail yn debygol o fod yn uwch na'r hyn sydd ei angen ar y cnwd. Ar gyfer tail sy'n cynnwys llawer o nitrogen sydd ar gael yn hawdd (h.y. tail dofednod, slyri da byw a gweddillion treulid anerobig) dylid rheoli'r gwaith taenu er mwyn lleihau'r risg o drwytholchi nitradau. Mae'n bwysig bod taenu gwrtaith yn cael ei gynnwys mewn cynlluniau rheoli pridd er mwyn sicrhau bod y maethynnau a gyflenwir yn cael eu cyfrif wrth gynllunio taenu gwrtaith artiffisial a lleihau llwythi maethynnau a fydd yn lleihau'r risg o lygredd aer a dŵr gwasgaredig. (Bhogal *et al.*, 2009).
- Awgrymwyd hefyd fod ychwanegu gwrtaith nitrogen sachau yn cynyddu lefelau carbon organig yn y pridd drwy gynyddu biomas cnydau. Fodd bynnag, dim ond os caiff gweddillion cnydau eu hymgorffori yn y pridd y bydd y strategaeth hon yn effeithiol (Alvarez, 2005).

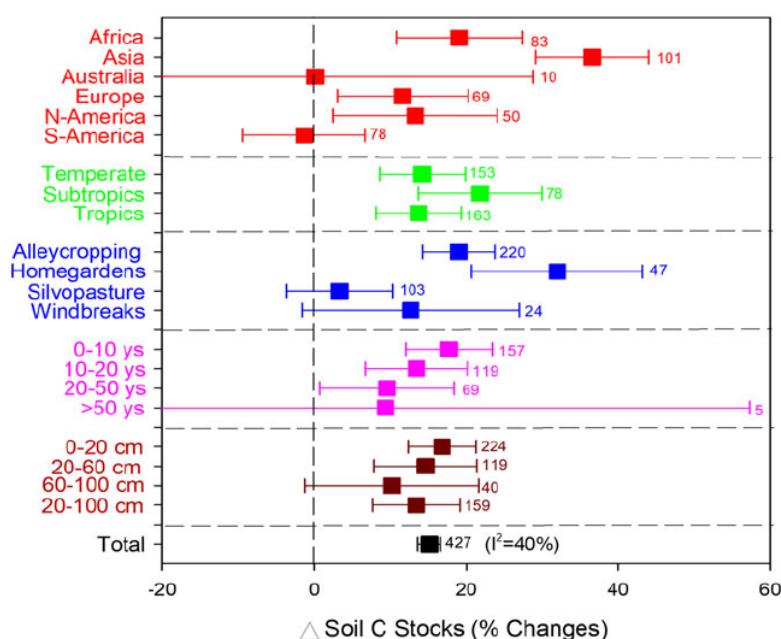
8.1.4 Cnydau gorchudd

- Defnyddir cnydau gorchudd mewn systemau â'r rhwng y cynhaeaf ac adeg sefydlu'r cnwd gwerthu nesaf. Fel arfer, fe'u defnyddir mewn systemau cylchdro cnydau gwanwyn a gallant fod yn ffordd effeithiol o leihau colledion nitradau yn sgil trwytholchi a lleihau'r risg o ddifrod i'r pridd o ganlyniad i law drwy ddarparu gorchudd i'r pridd dros y gaeaf.
- Mae astudiaethau wedi dangos y gall cnydau gorchudd gynyddu cynnwys deunydd organig yn y pridd ond bydd maint y cynnydd yn dibynnu ar faint o fiomas sy'n cael ei gynhyrchu a'i ymgorffori yn y pridd. Nododd Sainju *et al.* (2002) ostyngiad o 25% yn y lefelau carbon organig yn y pridd yn dilyn chwe blynedd o ffermio â'r traddodiadol heb gnydau gorchudd, ond gyda chnwd gorchudd ffacys blewog (yn dychwelyd tua 0.7 t C/ha/y flwyddyn) dim ond 1% roedd y lefelau carbon organig yn y pridd wedi gostwng, a chyda chnwd gorchudd rhyg (yn dychwelyd tua 3.7 t C/ha/y flwyddyn), cynyddodd y lefelau 3-4%.
- Mae cyflwr y pridd a'r tywydd adeg sefydlu cnwd gorchudd yn ffactorau pwysig sy'n rheoli effeithiolrwydd cnydau gorchudd. Canfu meta-ddadansoddiad o 30 o astudiaethau (37 o safleoedd), a oedd yn cynnwys dyfnderoedd samplu a amrywiai o 2.5 cm i 120 cm, fod defnyddio cnydau gorchudd fel tail gwyrdd wedi arwain at gynydd sylweddol yn y stociau carbon organig y pridd (Poeplau a Don 2013); y gyfradd dal a storio carbon organig yn y pridd flynyddol oedd 0.32 ± 0.08 t C/ha/y flwyddyn, a gododd i uchafswm cynnydd cyfartalog o 16.7 t/ha. Nododd yr awduron hefyd gydberthynas linol rhwng nifer y blynedd oedd y mae cnwd gorchudd wedi'i gynnwys mewn system cylchdroi cnydau a'r newid yn stoc y carbon organig yn y pridd. Nododd Bai *et al.* (2019) fod cnydau gorchudd codlysol yn gysylltiedig â chyfradd uwch o ddal a storio carbon organig yn y pridd na chnydau nad oeddent yn godlysol.

8.2 Arferion rheoli newydd

8.2.1 Amaethgoedwigaeth

- Mae systemau amaethgoedwigaeth yn cyfuno coed â chnydau neu dir pori yn yr un cae. Yn ôl Feliciano *et al.* (2018), mae pum prif fath o amaethgoedwigaeth, sef tyfu cnydau mewn aliau, ffermio coedwig, coed-fugeiliaeth, clustogfeydd o goed ger glannau afonydd ac atalfeydd gwynt. Mae amaethgoedwigaeth yn ei gwneud yn bosibl i'r prif ddefnydd o'r tir barhau (e.e. tyfu cnydau neu laswellt) wrth ddod â manteision o ran dal a storio carbon. O ganlyniad, nododd y Pwyllgor ar Newid Hinsawdd (2020) fod amaethgoedwigaeth yn un o elfennau strategaethau posibl i leihau allyriadau nwyon tŷ gwydr o'r sector amaethyddol yn y DU.
- Defnyddiodd Shi *et al.* (2018) feta-ddadansoddiad o 427 o barau data carbon pridd i asesu newidiadau yn y lefelau carbon organig yn y pridd o gymharu â thir â neu dir pori gerllaw. Cyfrifodd yr awduron fod cynnwys cymedrig carbon organig yn y pridd mewn systemau amaethgoedwigaeth 19% yn fwy nag ar gyfer tir â neu dir pori (Ffigur 23).

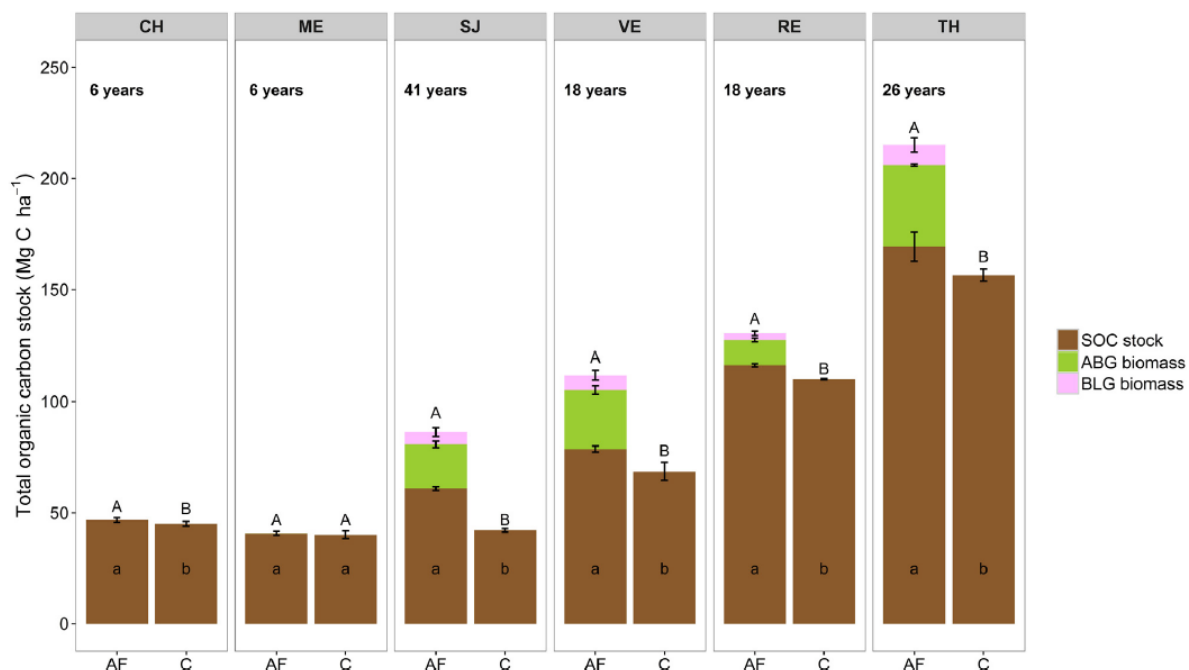


Ffigur 23. Newidiadau yn y stociau carbon organig yn y pridd mewn systemau amaethgoedwigaeth o gymharu â thir â (neu dir pori) ar gyfer chwe chlyfandir, tair cylchfa hinsawdd, pedair system reoli, pedwar grŵp oedran coed a phedwar categori o ddyfnder pridd. Mae'r rhif yn dynodi nifer y parau data a gynhwyswyd yn y gymhariaeth; I^2 = mesur heterogenedd (40% = heterogenedd isel). (Ffynhonnell: Shi *et al.*, 2018).

- Prin yw'r astudiaethau sydd wedi asesu effaith systemau amaethgoedwigaeth ar y carbon sy'n cael ei storio mewn priddoedd mewn hinsoddau tymherus, am fod y rhan fwyaf wedi'u cynnal mewn rhanbarthau trofannol. Mesurodd Cardinael *et al.* (2017) stociau carbon organig mewn priddoedd a choed mewn chwe system amaethgoedwigaeth (5 system goed-cnydau â ac 1 system goed-fugeiliaeth) o gymharu â lleiniau rheoli cyfagos yn Ffrainc (Ffigur 24). Ar ôl cael eu plannu, cafodd y pridd yn y rhyng-resi amaethgoedwigaeth ei reoli yn yr union un ffordd â'r llain reolydd amaethyddol. Ar bob safle, roedd crynodiad carbon organig yn y pridd yn y 10 cm uchaf gryn dipyn yn uwch yn y rhes o goed nag yn y rhyngres. Hefyd, canfuwyd mwy o stociau o garbon organig yn y pridd mewn haenau dyfnach o bridd ar ddau safle coed-cnydau â. Roedd cynnwys carbon organig yn y pridd ar y safle coed-fugeiliaeth hefyd gryn dipyn yn uwch ar ddyfnder o 30-50 nag ar y llain reolydd. Ar y cyfan, y gyfradd cronni stociau carbon organig

gymedrig yn y pridd oedd 0.24 (0.09–0.46) Mg C/ha/y flwyddyn ar ddyfnder o 30 cm. Ar gyfer y DU, amcangyfrifwyd yn ddiweddar y gallai plannu coed ar dir amaethyddol, wrth gadw eu prif ddefnydd, arbed 6 MtCO₂-eq erbyn 2050 (CCC, 2020).

- Mae gwaith ymchwil wedi awgrymu bod cynhyrchiant yn uwch mewn systemau amaethgoedwigaeth o gymharu â systemau un cnwd oherwydd cyfatebolrwydd o ran dal adnoddau, h.y. mae coed yn cael adnoddau na fyddai cnydau eu pen eu hunain yn eu cael (Cannell *et al.*, 1996). Gall canopiâu coed ddiogelu cnydau (a da byw) rhag straen gwynt, cymedroli eithafion tymheredd, cynyddu tymereddau priddoedd a gwella amodau dŵr pridd. Ar y llaw arall, gall cysgodi gan goed neu gystadlu posibl am ddŵr arwain at gynhyrchiant is.
- Hyd yma, mae llawer o'r gwaith ymchwil wedi canolbwyntio ar amaethgoedwigaeth mewn systemau trofannol fel ffordd o fynd i'r afael â diogelwch bwyd a materion amgylcheddol mewn ardaloedd tlawd (Smith *et al.*, 2012). Fodd bynnag, yn fwy diweddar, mae astudiaethau mewn amgylcheddau tymherus hefyd awgrymu bod i amaethgoedwigaeth fanteision o ran cynnyrch cnydau.
- Mae'r Gymhareb Cyfwerth â Thir (LER) y cyfrifo faint o dir y byddai ei angen ar gyfer yr un cynnyrch petai dau gnwd yn cael eu hau ar wahân (e.e. coed a gwenith). Er enghraifft, mae LER o 1.1 yn dynodi mantais o 10% sy'n deillio o dyfu cnydau gyda'i gilydd (e.e. amaethgoedwigaeth) o gymharu ag un cnwd.
- Defnyddiodd Graves *et al.* (2007) fodel Yield-SAFE (amcangyfrifydd cynnyrch ar gyfer cynllunio amaethgoedwigaeth yn seiliedig ar goed-cnydau â'r dros yr hirdymor yn Ewrop) i ragfynegi LER ar gyfer systemau amaethgoedwigaeth Ewropeaidd (coed-cnydau â'r). Rhagwelodd y model werthoedd LER rhwng 1-1.4 ar gyfer senarios yn Sbaen a'r Iseldiroedd, gan nodi bod cynhyrchiant yn uwch pan gaiff coed a chnydau eu hintegreiddio na phan gânt eu tyfu ar wahân. Dangosodd astudiaeth arall yn y Swistir, a ddefnyddiodd fodel Yield-SAFE hefyd, mewn 12 o 14 o senarios (coed-fugeiliol a choed-â'r), fod cymysgu cnydau yn arwain at fesuriadau LER o >1. At hynny, nodwyd bod 68% o'r senarios ariannol yn y Swistir yn fwy proffidiol nag arferion presennol (Sereke *et al.*, 2015).

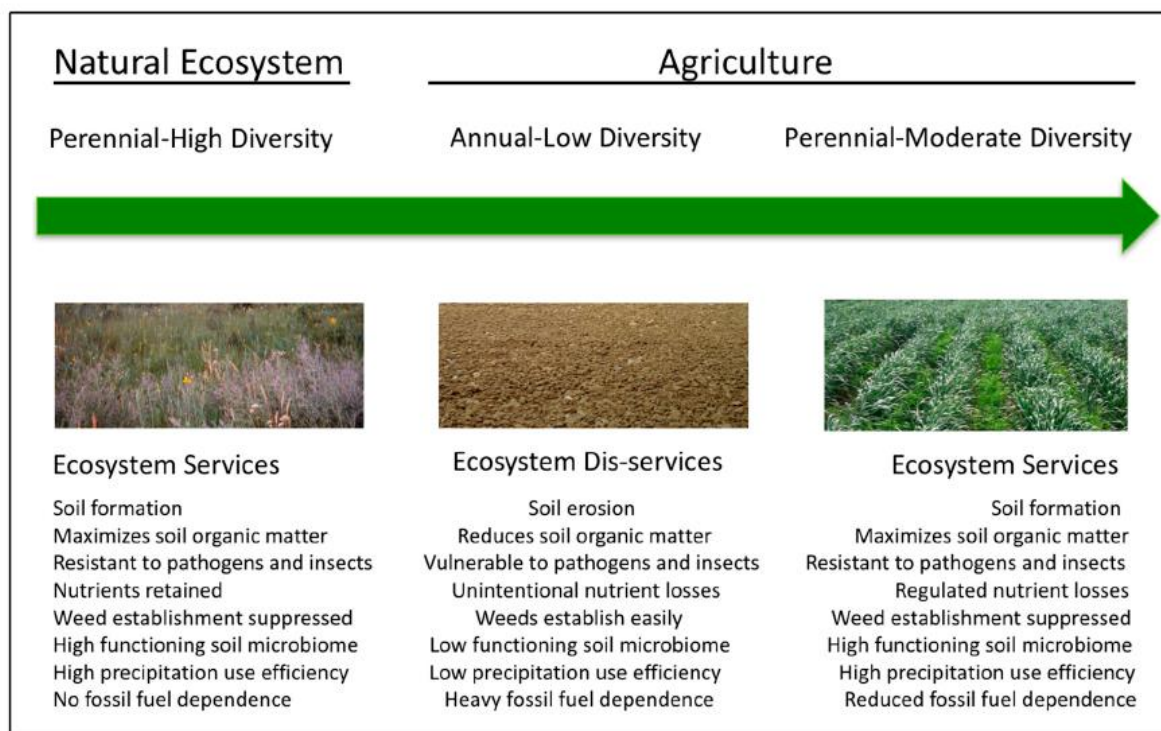


Ffigur 24. Cyfanswm carbon organig y chwe safle amaethgoedwigaeth (AF) o gymharu â safleoedd rheolydd (C). SOC: carbon organig yn y pridd; ABG: biomas ar wyneb y ddaear a BLGr: biomas o dan y ddaear. Y dyfnderau a astudiwyd oedd 30 cm CH ac ME, 20 cm SJ. 60 cm VE, 100 cm RE a 50 cm TH. Mae llythrennau bychain gwahanol yn dynodi gwahaniaethau yn y carbon organig yn y pridd ac mae priflythrennau gwahanol yn dynodi gwahaniaethau yng nghyfanswm y carbon organig rhwng lleiniau AF ac C fesul safle (Ffynhonnell: Cardinael *et al.*, 2017).

8.3 Arferion rheoli arloesol

8.3.1 Cnydau âr parhaol

- Darperir y rhan fwyaf o'r bwyd a gynhyrchir i'w fwyta gan bobl gan gnydau yd unflwydd sy'n gofyn am drin y tir bob blwyddyn, a all gynyddu'r risg o erydu pridd, colli maethynnau mewn dŵr ffo neu drwytholchi, a cholli bioamrywiaeth a deunydd organig (Duchene *et al.*, 2019). Mewn cymhariaeth, awgrymwyd y gallai amaethyddiaeth sy'n seiliedig ar dyfu cnydau yd parhaol adfer llawer o'r gwasanaethau ecosystem a gollwyd drwy newid i systemau cynhyrchu cnydau yd unflwydd (Ffigur 25). Mae cnydau parhaol yn cynyddu'r mewnbwn o garbon o wreiddiau ac yn arwain at lai o darfu ar y pridd, gan gynyddu'r lefelau carbon organig yn y pridd, o bosibl. Mae llawer o'r gwaith ymchwil i'r ffordd y caiff cnydau âr parhaol eu rheoli wedi'i wneud dramor ac mae angen gwneud rhagor o waith i asesu pa mor berthnasol ydynt i amaethyddiaeth yng Nghymru (a'r DU).



Ffigur 25. Newidiadau mewn gwasanaethau ecosystem pan gaiff ecosystemau 'naturiol' eu troi'n ecosystemau cnydau ŷd unflwydd. Gallai amaethyddiaeth sy'n seiliedig ar dyfu cnydau ŷd parhaol ailsefydlu llawer o'r gwasanaethau a gefnogwyd gan yr ecosystem 'naturiol' (Ffynhonnell: Crews a Cattani, 2018).

- Mae cyfleoedd i ddatblygu amrywiaeth o gnydau parhaol drwy hybrideiddio, gan fod gan lawer o gnydau ŷd neu gnydau rhes unflwydd megis indrawn, ceirch ac ati berthnasau parhaol gwyllt agos. (Cox *et al.*, 2006). Yn UDA, mae perthynas gwenith parhaol, sef rhwd gwenith rhyngol (IWG) *Thinopyrum intermedium*, sy'n cael ei farchnata fel Kernza, eisoes yn cael ei ddefnyddio mewn cynhyrchion bwyd yn yr UD. Mae IWG yn llawer llai cynhyrchiol nag amrywogaethau o wenith unflwydd, am fod ganddo fynegrif cynaeafu isel o ryw 0.10 (h.y. dim ond 10% o gyfanswm y biomas sy'n cynnwys grawn, o gymharu â gwenith unflwydd sydd â mynegrif cynaeafu o 0.45-0.55, fel arfer). Er enghraifft, mesurodd Culman *et al.* (2013) gynnyrch grawn Kernza o <1-1.6 t/ha a biomas llystyfiannol o 4-17 t/ha, o gymharu â chynnyrch grawn gwenith gaeaf o 3-5 t/ha a biomas llystyfiannol o 3.5-4.5 t/ha. Fodd bynnag, mae gwaith ymchwil wedi awgrymu y gallai gweddillion IWG ar ôl cynaeafu gynnig ffynhonnell cost isel fuddiol o borthiant ar gyfer gwartheg sy'n cael eu gaeafu, a allai gynnig gwerth ychwanegol.
- Lluniodd King a Blesh (2018) gronfa ddata o 169 o systemau cnydio, a ddosbarthodd gylchdroadau i dri grŵp bras, sef: 1) cnydau ŷd yn unig, 2) cnydau ŷd gyda chnydau gorchudd a 3) cnydau ŷd gyda chnydau parhaol. Y cylchdroadau cnydau mwyaf effeithiol ar gyfer cynyddu crynodiadau carbon organig yn y pridd o'u cymharu â chylchdroadau sy'n cynnwys cnydau ŷd yn unig oedd y rhai a oedd yn cynnwys cnwd parhaol (+12.5%) neu gnwd gorchudd (+6.3%); roedd y manteision yn fwy amlwg mewn systemau â mewnbynnau isel o nitrogen. Felly, mae'n bosibl y bydd defnydd rheolaidd o gyfnod parhaol mewn cylchdro cnydau yn cynyddu lefelau carbon yn y pridd dros yr hirdymor. Yn benodol, mae Crews a Rumsey (2017) wedi awgrymu y gallai newid o gnydau ŷd unflwydd i gnydau ŷd parhaol gronni hyd at 1.7 t/ha/y flwyddyn o garbon organig yn y pridd, yn dibynnu ar amodau'r pridd a'r hinsawdd.

8.3.2 *Bridio planhigion*

- Gellid cynyddu faint o garbon sy'n cael ei ddal a'i storio mewn priddoedd drwy ddefnyddio planhigion sydd wedi'u bridio'n benodol at y diben hwnnw. Er enghraifft, gallai màs gwreiddyn mwy wella gallu planhigion i wrthsefyll sychder a llifogydd a gallai hefyd gynyddu faint o garbon sy'n cael ei ddal a'i storio. Mae menter 'Harnessing Plants' Sefydliad Salk yn defnyddio technegau genetig a genomig i fanteisio i'r eithaf ar allu naturiol planhigyn i storio carbon⁶. Y nod yw cynhyrchu planhigion â system wreiddiau ddyfnach a mwy o faint a all storio carbon am fwy o amser, o gymharu ag amrywogaethau cyffredin o blanhigion. Unwaith y bydd y fethodoleg wedi'i datblygu mewn planhigion enghreifftiol, y nod yw trosglwyddo'r nodweddion genetig i chwe chnwd: indrawn, gwenith, rêp had olew, ffa soia, reis a chotwm. Fodd bynnag, gall cynhyrchu amrywogaeth newydd o blanhigyn gymryd sawl blwyddyn (degawdau) ac, felly, dim ond yn yr hirdymor y gwelir unrhyw fanteision sy'n deillio o'r dull hwn o weithredu.

⁶ <https://www.salk.edu/science/power-of-plants/>

9 Y prif sbardunau a allai gynyddu tir âr yn y DU

- Gall sbardunau a allai gynyddu tir âr fod yn uniongyrchol neu'n anuniongyrchol ac maent yn effeithio ar y cyflenwad o dir a'r galw amdano. Mae sbardunau uniongyrchol yn cynnwys tir ar gyfer ehangu defnyddiau presennol megis datblygu neu goedwigo, tra mai'r sbardunau anuniongyrchol yw'r ffactorau lefel uwch hynny sy'n effeithio ar y galw hwn am dir megis marchnadoedd a thwf poblogaeth (Elliot *et al.*, 2016). Fodd bynnag, mae rhai ffactorau, megis newid yn yr hinsawdd, yn sbardunau uniongyrchol ac anuniongyrchol.
- Ar hyn o bryd, mae'r system fwyd yng Nghymru wedi'i hintegreiddio yn systemau'r DU ac Ewrop ac mae'r cyd-destun byd-eang ehangach yn dylanwadu'n fawr arni (Llywodraeth Cymru, 2010). Ar ôl Brexit, disgwylir i'r cysylltiad agos â'r DU ac Ewrop barhau i fod yn ffactor pwysig sy'n effeithio ar ddefnydd tir yng Nghymru, o leiaf yn y byrdymor.

9.1 Y galw am fwyd a thwf poblogaeth

- Rhagamcenerir y bydd poblogaeth Cymru yn cynyddu 3.1% i 3.21 miliwn erbyn 2026 a 4.6% i 3.26 miliwn erbyn 2041 (Swyddfa Ystadegau Gwladol, 2017). Felly, disgwylir i'r galw am fwyd gynyddu ar yr un pryd.
- Gallai tueddiadau yn y farchnad, megis lleihad yn y galw am gig coch a'r awydd i gael protein planhigion neu ddewisiadau amgen yn lle cynhyrchion llaeth, hefyd ddylanwadu ar y math o gnydau a dyfir yng Nghymru.

9.2 Ymadael â'r UE

- Mae'r sector amaethyddol yn gwneud cyfraniad sylweddol at gynnyrch domestig gros a marchnad lafur Cymru – yn 2018, cyfrannodd amaethyddiaeth £498 miliwn (Gwerth Ychwanegol Gros) i economi Cymru⁷.
- Mae'r mwyafrif helaeth o allforion cynnyrch amaethyddol rhyngwladol Cymru yn mynd i wledydd yn yr UE (Cynulliad Cenedlaethol Cymru, 2018). Ar hyn o bryd, caiff y fasnach mewn cynnyrch amaethyddol rhwng Cymru a'r UE ei hwyluso gan aelodaeth y DU o'r Farchnad Sengl a'r Undeb Tollau, sy'n dileu pob tariff, toll a rhwystr rheoleiddiol i symud nwyddau.
- Ar ôl Brexit, mae nifer o ganlyniadau posibl i gydb berthynas fasnachu'r DU â'r UE yn y dyfodol, ac mae trafodaethau rhwng y DU a'r UE yn parhau. Felly, amser a ddengys pa fath o gydb berthynas fasnachu fydd rhwng y DU a'r UE yn y dyfodol, a beth mae hyn yn ei olygu i'r sector amaethyddol. Mae'r DU a'r UE wedi cytuno i gyfnod pontio, neu gyfnod gweithredu, sy'n golygu bod disgwyl i'r trefniadau masnachu presennol barhau tan 31 Rhagfyr 2020⁸.

9.3 Cnydau ynni a biodanwyddau

- Mae'n bosibl y bydd pwysau ar gyflenwadau ynni ledled y byd, ynghyd â'r awydd i symud i ffwrdd oddi wrth ffynonellau tanwydd ffosil yn cynyddu'r galw am dir i dyfu cnydau ynni ar gyfer biomas neu fiodanwyddau. Tyfir cnydau ynni at ddibenion cynhyrchu ynni yn unig yn hytrach nag ar gyfer bwyd ac mae rhywfaint o bryder y gall defnyddio biomas neu fiodanwyddau sy'n deillio o gnydau gael canlyniadau negyddol pan roddir y gorau i ddefnyddio tir i gynhyrchu bwyd, er y gall rhai gael eu tyfu ar dir gwael na fyddai'n cael ei ddefnyddio i gynhyrchu bwyd fel arfer (JRC, 2010). Cyfeiriodd Tilman *et al.* (2009) at hyn fel y 'trilemma' bwyd, ynni a'r amgylchedd. Er enghraifft, bydd clirio ecosystemau glaswelltir brodorol a chynhyrchu biodanwyddau yn eu lle, yn rhyddhau CO₂ (gan ddileu unrhyw fanteision sy'n deillio o'r

⁷ <https://gov.wales/sites/default/files/statistics-and-research/2019-04/aggregate-agricultural-output-and-income-2018.pdf>

⁸ <https://publications.parliament.uk/pa/cm201719/cmselect/cmwelaf/402/40205.htm>

biodanwydd o ran lleihau allyriadau nwyon tŷ gwyr). Yn yr un modd, gallai rhoi'r gorau i dyfu cnydau â'r i'w bwyta a thyfu cnydau biodanwydd yn eu lle, arwain at sefyllfa lle mae ffermwyr mewn mannau eraill yn clirio ecosystemau brodorol er mwyn tyfu cnydau bwyd – h.y. caiff yr effeithiau negyddol eu symud i rannau eraill o'r byd.

- Mae Cyfarwydddeb Ynni Adnewyddadwy'r UE yn datgan, erbyn 2020, fod yn rhaid i 10% o danwydd trafnidiaeth ddod o fiodanwydd. Fodd bynnag, o'r ffigur hwn o 10%, dim ond 5.5% a all ddod o gnydau bwyd, sy'n golygu y bydd angen cynhyrchu mwy o gnydau bio-ynni heb effeithio ar weithgarwch cynhyrchu cnydau bwyd ar yr un pryd. Yn 2017, daeth tua 5% o danwydd trafnidiaeth y DU o ffynonellau ynni adnewyddadwy, sy'n awgrymu bod y galw am gnydau bio-ynni yn debygol o gynyddu.
- Yn 2017, roedd arwynebedd cnydau bio-ynni (rhywogaethau parhaol ac unflwydd) yn cyfrif am 2.2% o'r holl dir â'r yn y DU, yr oedd 48% ohono'n cael ei ddefnyddio i gynhyrchu biodanwydd ar gyfer y farchnad trafnidiaeth ffordd (Defra, 2019). Gellir tyfu gwenith (3% o arwynebedd tir y DU yn 2017/18) a betys siwgr (5% o arwynebedd tir y DU yn 2017/18) i'w defnyddio mewn bioethanol. Daeth mwy na 60% o'r bioethanol o gnydau ar gyfer trafnidiaeth ffordd o gnydau a dyfwyd y tu allan i'r DU.
- Y prif gnydau a dyfir i'w defnyddio yn y marchnadoedd gwres a thrydan (a losgir mewn gorsafoedd pŵer, unedau gwres a phŵer cyfunol neu systemau gwresogi) yw miscanthws (0.1% o gyfanswm arwynebedd y tir â'r yn Lloegr) a choedlannau cylchdro byr (0.1% o gyfanswm arwynebedd y tir â'r yn Lloegr). Gall cnydau hefyd gael eu tyfu yn benodol i'w defnyddio fel deunydd crai mewn cyfleusterau treulio anerobig i gynhyrchu bio-nwy a gweddillion treuliad anaerobig; yn 2016/17, roedd 32% o gyfanswm y deunydd crai yn gnydau a dyfwyd yn benodol ar gyfer cyfleusterau treulio anerobig (Defra, 2019). Y cnydau a dyfir gan amlaf ar gyfer cyfleusterau treulio anerobig yw indrawn, rêp had olew a glaswellt.
- Awgrymodd adroddiad diweddar gan y Comisiwn ar y Newid yn yr Hinsawdd (2020), petai cyfraddau plannu cyfartalog y DU ar gyfer miscanthws, coedlannau cylchdro byr a choedwigoedd cylchdro yn cael eu cynyddu i 23,000 ha y flwyddyn o'r 2020au ymlaen, y byddai hyn yn sicrhau gostyngiad o 2 MtCO₂-eq mewn allyriadau yn y sector tir.

9.4 Cnydau protein a chnydau codlysiau

- Mae planhigion llawn protein (protein crai >15%) yn cynnwys hadau olew, hadau blodau'r haul, ffa, pys, gorbys, bysedd y blaidd ac ati (EC, 2018). Mae cyfradd hunangynhaliaeth yr UE yn amrywio o 79% ar gyfer had rêp i ddim ond 5% ar gyfer soia; mae'r ffigurau yn debygol o fod yn is fyth yn achos Cymru.
- Porthiant da byw yw'r brif farchnad ar gyfer planhigion protein. Fodd bynnag, er bod y farchnad fwyd ar gyfer planhigion o'r fath yn llai, gallai fod yn fwy proffidiol ac mae'n tyfu. Erbyn 2054, rhagwelir y bydd y DU yn defnyddio 943 m o dunelli o brotein planhigion o bob rhan o'r byd⁹. Ar hyn o bryd, mae'r rhan fwyaf o brotein planhigion ar gyfer y farchnad fwyd (e.e. corbys a ffacbys) yn cael ei fewnforio ac, felly, efallai y bydd cyfle i dyfu mwy yng Nghymru.

9.5 Cnydau eraill (e.e. cnydau fferyllol neu gnydau ffeibr)

- Mae diddordeb cynyddol mewn tyfu amrywiaeth o gnydau i'w defnyddio at ddibenion heblaw eu bwyta megis cynhyrchu olew neu feddyginiaethau, e.e. tafod yr ŷch, calendwla, camelina a sêr-flodau. Er enghraifft, mae cywarch, a elwir hefyd yn *Cannabis sativa*, wedi bod yn cael ei dyfu yn y DU ers 1993, ar gyfer y farchnad ffeibr yn bennaf. Fodd bynnag, yn sgil pasio'r Ddeddf

⁹ <https://www.fwi.co.uk/arable/crop-selection/market-opportunities/the-new-crops-that-could-soon-profit-uk-farmers>

Canabis at Ddefnydd Meddyginiaethol, cynyddodd y galw am ganabis fwy na 500% yn 2019¹⁰. Mae hyn i'w briodoli'n bennaf i'r galw am olew CBD, sy'n cael ei farchnata ar sail y ffaith bod iddo nifer o briodweddau aromatherapiwtig a meddyginiaethol.

9.6 Hunangynhaliath

- Nid yw'r DU yn hunangynhaliol o ran cynhyrchu bwyd; mae'n mewnforio ychydig o dan hanner yr holl fwyd sy'n cael ei fwyta ac mae'r gyfran yn cynyddu¹¹. Felly, fel gwlad sy'n masnachu mewn bwyd, mae'r DU yn dibynnu ar fewnforion a sector amaethyddol ffyniannus i'w bwydo ei hun ac ysgogi twf economaidd.
- Gall ffactorau megis clefydau mewn cnydau, gorlaw neu sychder effeithio ar lefel hunangynhaliath bob blwyddyn. At hynny, mae'n amrywio yn ôl y sector ac mae'r DU 80% yn hunangynhaliol mewn cig a chynhyrchion cig, 84% yn hunangynhaliol mewn cynhyrchion llaeth ac wyau, 50% yn hunangynhaliol mewn cnydau â ond dim ond 19% yn hunangynhaliol mewn ffrwythau a llysiau ffres (Llywodraeth Cymru, 2010). Mae'n bosibl y bydd yr ymgyrch i'n gwneud yn fwy hunangynhaliol mewn cnydau â ffrwythau/llysiau yn cynyddu'r galw i drin tir er mwyn tyfu cnydau yn hytrach na chynhyrchu da byw.
- Caiff cyfran sylweddol (35-40%) o gig oen Cymru a chyfran fach (tua 14%) o gig eidion Cymru eu hallforio i'r UE. Felly, byddai mynediad cyfyngedig i farchnad allforio'r UE yn cael effaith andwyol ar y sector cig coch (AHDB, 2018). Os na ddeuir o hyd i farchnadoedd allforio newydd neu os na fydd marchnadoedd allforio newydd yn opsiwn ymarferol na phroffidiol, yna gallai fod pwysau economaidd a/neu wleidyddol i ddefnyddio glaswelltir a oedd yn cael ei bori'n flaenorol i gynhyrchu cnydau eraill.

9.7 Newid yn yr hinsawdd

- Mae tystiolaeth bod gallu bioffisegol y tir i gynnal cynhyrchu amaethyddol wedi newid dros y degawdau diwethaf wrth i'r hinsawdd newid (ASC, 2016). Mae hyd y tymor tyfu wedi cynyddu tua 60 diwrnod gradd, ar gyfartaledd, dros y cyfnod o 87 mlynedd rhwng 1914 a 2000 yn achos Cymru a Lloegr, gyda chynnydd sylweddol yn negawd diwethaf yr 20fed ganrif. Mae rhagfynegiadau UKCIP ar gyfer Cymru yn awgrymu y bydd tymheredd y gaeaf a thymheredd yr haf yn codi rhwng y 2020au a'r 2080au. At hynny, er na ddisgwylir i gyfanswm y glaw blyneddol newid dros yr un cyfnod, bydd y dosbarthiad tymhorol yn newid yn y fath fodd fel y bydd gaeafau yn wlypach a hafau yn sychach nag ydynt ar hyn o bryd.
- Gall argymhellion neu ganllawiau ynglŷn â defnydd tir a gyhoeddir gan y Llywodraeth neu sefydliadau gwyddonol hefyd ddylanwadu ar y ffordd y caiff defnydd tir ei reoli neu ei lywio. Er enghraifft, yn 2018, awgrymodd y Pwyllgor ar Newid Hinsawdd (CCC, 2018), am fod defaid a gwartheg yn cyfrif am >50% o allyriadau o'r sector amaethyddol, y byddai'n fuddiol lleihau nifer y da byw yn sylweddol. Petai'r cyngor hwn yn cael ei ddilyn, yna mae'n debygol y byddai cryn dipyn o laswelltir wedyn ar gael i'w ddefnyddio at ddibenion eraill. Wrth ystyried unrhyw newid i'r defnydd a wneir o dir, bydd yn bwysig asesu'r effaith y mae trin priddoedd glaswelltir yn debygol o'i chael ar allyriadau carbon deuocsid i'r atmosffer yn ogystal â cholledion eraill i'r amgylchedd gan gynnwys nitradau a gwaddod a ffosfforws a gollir i ddŵr, erydiad pridd ac ati.

¹⁰ <https://www.farmersguide.co.uk/2019/05/one-crop-has-seen-demand-grow-by-500-across-europe-and-investors-are-taking-notice/>

¹¹ <https://www.gov.uk/government/publications/food-statistics-pocketbook-2017/food-statistics-in-your-pocket-2017-global-and-uk-supply>

10 Polisi lliniaru newid yn yr hinsawdd yng Nghymru

- Ar hyn o bryd, mae gan Lywodraeth Cymru darged cyfreithiol gyfrwymol i leihau allyriadau nwyon tŷ gwydr 'o leiaf 80%' (o gymharu â'r llinell sylfaen¹²) erbyn 2050, a bennwyd gan Ddeddf yr Amgylchedd (Cymru). Ym mis Mawrth 2019, cyhoeddodd Llywodraeth Cymru 'Ffyniant i Bawb: Cymru Carbon Isel', a ddaeth â pholisïau a chynigion a oedd eisoes yn bodoli mewn amrywiaeth o sectorau at ei gilydd. Amlinellodd y cynllun sut roedd Cymru yn bwriadu cyflawni'r gyllideb garbon gyntaf (2016-2020) a nododd gynlluniau ar gyfer camau gweithredu yn y dyfodol. Fodd bynnag, ym mis Mai 2019, cyhoeddodd y Pwyllgor ar Newid Hinsawdd 'Net Zero – the UK's contribution to global warming' lle yr argymhellodd y dylai'r DU bennu targed sero net ar gyfer nwyon tŷ gwydr (h.y. gostyngiad o 100% o lefelau 1990). Yn achos Cymru, argymhellodd y Pwyllgor ar Newid Hinsawdd ostyngiad o 95% mewn allyriadau (o gymharu â lefelau 1990), sy'n adlewyrchu'r 'large share of agriculture emissions in Wales and lower access to suitable sites to store captured carbon dioxide' (CCC, 2019).
- Ym mis Ebrill, datganodd Lesley Griffiths (Gweinidog yr Amgylchedd, Ynni a Materion Gwledig) argyfwng newid yn yr hinsawdd yng Nghymru ac, ym mis Mehefin 2019, derbyniodd Llywodraeth Cymru argymhelliad y Pwyllgor ar Newid Hinsawdd y dylid lleihau allyriadau 95%. Fodd bynnag, nododd y Llywodraeth hefyd ei huchelgais i 'gyflwyno targed yng Nghymru i gyrraedd targed net lle bydd allyriadau yn gostwng i sero cyn 2050'¹³. Bydd Llywodraeth Cymru yn cyflwyno rheoliadau i'r Cynulliad yn 2020 i ddiwygio'r targed presennol ar gyfer 2050, a diwygio targedau dros dro a chyllidebau carbon Cymru yn ôl yr angen.
- Ar ddiwedd y flwyddyn ddiwethaf, cyhoeddodd Llywodraeth Cymru 'Ffyniant i Bawb: Cymru sy'n Effro i'r Hinsawdd'. Hwn oedd yr ail gynllun Cymru ar gyfer addasu i'r newid yn yr hinsawdd ac roedd yn ymateb i'r risgiau a nodwyd yn yr Asesiad Risgiau Newid Hinsawdd i Gymru. Mae'n nodi cam gweithredu i leihau risgiau newid yn yr hinsawdd yng Nghymru dros y pum mlynedd nesaf. Mae'r cynlluniau i gynyddu gorchudd coetir (yr ymdrinnir ag ef gan Strategaeth Coetiroedd i Gymru) a'r angen i newid y cymorth a roddir i ffermydd yn y dyfodol (yr ymdrinnir ag ef gan yr ymgynghoriad ar gymorth i ffermydd yn y dyfodol yn Ffermio Cynaliadwy a'n Tir) yn berthnasol i'r adroddiad hwn.

11 Cyfnewid gwybodaeth er mwyn i reolwyr tir liniaru newid yn yr hinsawdd

- Prif ddarparwr gwasanaethau cyfnewid gwybodaeth yng Nghymru yw rhaglen Cyswllt Ffermio¹⁴. Mae'n darparu gwasanaethau cyfnewid gwybodaeth, arloesi a chynghori i fusnesau amaethyddol a busnesau coedwigaeth yng Nghymru. Bwriedir iddo wella cynaliadwyedd, cystadleurwydd a pherfformiad amgylcheddol. Mae'r rhaglen yn canolbwyntio ar liniaru newid yn yr hinsawdd, bioamrywiaeth, coedwigaeth, cig coch, y sector llaeth, glaswelltir, ffermio â'r, garddwriaeth, cynnyrch organig a moch a dofednod. Mae'r gweithgareddau yn cynnwys gweithgareddau un i lawer (gan gynnwys teithiau cerdded o amgylch ffermydd, ymweliadau â ffermydd arddangos a digwyddiadau ymwybyddiaeth strategol), trafodaethau grŵp a sesiynau datblygu (gan gynnwys clybiau busnes ac Agrigôp – sy'n rhaglen dysgu gweithredol), a chynghori un i un (gan gynnwys cymorthfeydd cynllunio ac olyniaeth, y Gwasanaeth Cynghori Ffermydd ac

¹² 1990: carbon deuocsid, methan, ocsid nitraidd. 1995: hydrofflorocarbonau, perfflorocarbonau, sylffwr hecsafflŵr, nitrogen triffllŵr.

¹³ <https://llyw.cymru/cymru-yn-derbyn-targed-y-pwyllgor-ar-newid-hinsawdd-o-weld-leihad-o-95-mewn-allyriadau>

¹⁴ <https://businesswales.gov.wales/farmingconnect/cy>

ati). Hefyd, mae digwyddiadau i'r cyfryngau torfol a mathau anffurfiol o gyngor (megis taflenni ffeithiau ac erthyglau yn y papur newydd sydd wedi'u hanelu at ffermwyr). Gan gadw mewn cof y gwahaniaethau eang mewn negeseuon sydd i'w cyfleu a natur heterogenaidd y gymuned ffermio, defnyddir bron yr holl dechnegau a geir mewn llenyddiaeth ryngwladol ar ymestyn amaethyddol yn Cyswllt Ffermio (Hill *et al.*, 2017).

- Cyflwynir y rhaglen cyfnewid gwybodaeth gan Menter a Busnes ar y cyd â Sefydliad y Gwyddorau Biolegol, Amgylcheddol a Gwledig (IBERS) (Prifysgol Aberystwyth). Ymhlith y darparwyr eraill mae ADAS Cymru, Rhwydwaith Ffermydd Arloesi Cymru (gan gynnwys colegau AB sy'n darparu hyfforddiant amaethyddol a hyfforddiant coedwigaeth yng Nghymru) a Phrifysgol Bangor.
- Mae'r sefydliadau sy'n gyrrff ardoll sy'n gweithredu yng Nghymru, sef Hybu Cig Cymru-HCC a Bwrdd Datblygu Amaethyddiaeth a Garddwriaeth-AHDB, hefyd yn gweithio ochr yn ochr â Cyswllt Ffermio gan sicrhau dull integredig o gyfnewid gwybodaeth.
- Mae gwefan Cyswllt Ffermio yn cynnwys cyngor technegol ar leihau allyriadau nwyon tŷ gwydr yn ogystal â'r adnodd rhyngweithiol i ffermydd, sy'n galluogi defnyddwyr i glicio ar y map (Ffigur 26) a chael gwybodaeth am strategaethau lleihau allyriadau ar gyfer ardaloedd penodol.
- Mae Cyswllt Ffermio hefyd yn cynnal y Ganolfan Cyfnewid Gwybodaeth, sy'n darparu rhyngwyneb rhwng ymchwilwyr, gweithwyr cynghorol proffesiynol a rheolwyr tir. Ei nod yw cynyddu'r defnydd a wneir o ganlyniadau ymchwil a chynyddu ymwybyddiaeth ymchwilwyr o faterion ar lawr gwlad. Mae'r ganolfan yn cynnig dolenni i nifer o erthyglau technegol lefel uchel sy'n ymwneud â newid yn yr hinsawdd gan IBERS.
- Yng Nghymru, mae IBERS ym Mhrifysgol Aberystwyth a Phrifysgol Bangor yn cymryd rhan mewn ymchwil sy'n ymdrin â newid yn yr hinsawdd. Hefyd, ym mis Mawrth 2019, cyhoeddwyd bod Prifysgol Caerdydd wedi cael ei dewis fel y prif hyb ar gyfer canolfan ymchwil gwerth £5 miliwn a fydd yn ystyried cyfleoedd i sicrhau'r gostyngiadau mewn allyriadau sydd eu hangen i fynd i'r afael â newid yn yr hinsawdd¹⁵. Yn y DU, yn gyffredinol, mae llawer o brifysgolion, colegau amaethyddol a sefydliadau ymchwil sy'n gwneud ymchwil i berthnasedd lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr, y nodir detholiad ohonynt yn Tabl 3.
- Mae 'Food & Farming Future'¹⁶ yn fenter am ddim i hwyluso'r broses o gael gafael ar gyhoeddiadau ymchwil a throsglwyddo technoleg. Mae'n ymgorffori 'OpenFields', sef llyfrgell ar-lein o lenyddiaeth, sy'n cynnwys erthyglau a chanllawiau diweddar ar liniaru newid yn yr hinsawdd. Mae'n cynnwys manylion am ddigwyddiadau cyfnewid gwybodaeth ledled y DU.

¹⁵ <https://www.cardiff.ac.uk/cy/news/view/1462532-uk-gets-new-5-million-climate-change-research-centre>

¹⁶ <https://www.foodandfarmingfutures.co.uk/Library/home/home.aspx>

Use our interactive farm to discover ways to increase profitability and reduce GHG emissions. Click on the hotspots to learn more

SCROLL



Increasing profitability Reducing GHG emissions



Increase the number of calves reared from 80% to 85%



Reduce cow size from 700kg to 500kg



Increase the number of lambs reared from 120% to 140%



Eradicate BVD from a beef herd



Prevent Johne's disease from affecting 10% of a dairy herd



Decrease the use of nitrogen (as synthetic fertilisers) by 10%



Reduce the use of diesel by 10%



Reduce the use of electricity by 10% on a dairy farm



The importance of agricultural soils



Agriculture and the environment

Ffigur 26. Adnodd rhyngweithiol i ffermwyr Cyswllt Ffermio sy'n nodi ffyrdd o gynyddu proffidoldeb a lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr. Mae defnyddwyr yn clicio ar y poethfannau neu'r penawdau er mwyn cael gwybodaeth fanylach (Ffynhonnell: <https://businesswales.gov.wales/farmingconnect/reducing-ghg-emissions>).

Tabl 3. Detholiad o ddarparwyr gwasanaethau ymchwil a throsglwyddo gwybodaeth amaethyddol

Darparwyr Ymchwil ac Arbenigedd	Trosolwg
ADAS	Mae ADAS yn gwneud ymchwil ac yn darparu gwasanaeth ymgynghori mewn amrywiaeth eang o feysydd (gan gynnwys defnyddio a rheoli pridd, ansawdd pridd, rheoleiddio dŵr a storio carbon, rheoli maethynnau, lliniaru newid yn yr hinsawdd ac ati).
Canolfan Ecoleg a Hydroleg https://www.ceh.ac.uk/amdanom-ni	Mae arbenigedd yn cynnwys cemeg ac effeithiau atmosfferig (llygryddion aer a nwyon tŷ gwydr), risgiau hydro-hinsawdd (tywydd eithafol, llifogydd a sychder), priddoedd a defnydd tir (mesur a modelu newid).
Canolfan John Innes https://www.jic.ac.uk/	Arbenigedd ym meysydd gwyddor planhigion, bridio planhigion a geneteg planhigion, rhyngweithio rhwng yr amgylchedd a chnydau, iechyd/clefydau planhigion a microbiolog.
Canolfannau arloesedd amaethyddol https://www.agritechcentres.com/	- Mae canolfannau amaeth-dechnoleg yn fenter gydweithredol rhwng y llywodraeth, academia a diwydiant. - Nod y 'Centre for Crop Health and Protection' https://chap-solutions.co.uk/ yw cynyddu cynhyrchiant cnydau drwy fanteisio ar dechnolegau newydd. - Nod 'Agrimetrics' https://agrimetrics.co.uk/ yw datrys yr heriau sy'n gysylltiedig â chynhyrchu bwyd mewn modd effeithlon ac amgylcheddol gynaliadwy drwy ddefnyddio data, dadansoddeg a deallusrwydd artiffisial. - Nod yr 'Agricultural Engineering Precision Innovation Centre' https://agri-epicentre.com/, yw cyflymu'r broses o fabwysiadu technoleg newydd er mwyn cynyddu cynnyrch.
Coleg Gwledig yr Alban (SRUC) https://www.sruc.ac.uk/	Mae grwpiau ymchwil yn cynnwys systemau cnydau a phriddoedd (e.e. lleihau allyriadau nwyon tŷ gwydr, rheoli pridd), systemau ffermio yn y dyfodol, yr economi wledig, yr amgylchedd a chymdeithas (e.e. technolegau amaethyddol cynaliadwy, defnyddio adnoddau naturiol yn gynaliadwy ac ati).
Colegau Amaethyddol,	E.g. Askham Bryan, Bishop Burton, Duchy, Myerscough, Hartpury, Coleg Prifysgol Writtle, Canolfan Prifysgol Reaseheath ac ati.
Cynghrair Diogelwch Bwyd ac Ymchwil Tir http://www.fslra.ac.uk/	- Cynghrair rhwng Prifysgol Caerfaddon, Prifysgol Bryste, Prifysgol Caerwysg, Rothamsted Research a Phrifysgol Caerdydd. - Arbenigedd ym meysydd bridio planhigion a chlefydau planhigion, lles anifeiliaid fferm, newid yn yr hinsawdd, gwyddor priddoedd a maethynnau, cynaliadwyedd a llywodraethu.

Innovation for Agriculture https://www.innovationforagriculture.org.uk/	Mae'n cysylltu ffermwyr ag ymchwil ym maes ffermio drwy weithdai, teithiau cerdded o amgylch ffermydd ac arddangosiadau ar ffermydd.
Innovative Farmers https://innovativefarmers.org/	Rhwydwaith o ffermwyr a thyfwyr sy'n treialu arferion rheoli arloesol ar ffermydd.
Prifysgol Aberdeen https://www.abdn.ac.uk/	Ysgol Gwyddorau Biolegol: priddoedd a newid byd-eang, amrywiaeth ficrobaidd priddoedd, ffiseg priddoedd ac effeithiau newid yn yr hinsawdd ar garbon yn y pridd.
Prifysgol Bangor https://www.bangor.ac.uk/index.php.cy	Mae portffolio ymchwil yr Ysgol Gwyddorau Naturiol yn cynnwys gwyddor pridd, effeithiau newid yn yr hinsawdd a lliniaru newid yn yr hinsawdd, gwyddor dalfeydd, microbiolog amgylcheddol, llygredd amgylcheddol, gwyddor cnydau a bridio, cadwraeth, economeg ecolegol, gwyddor coedwig ac amaethgoedwigaeth a gwasanaethau ecosystemau
Prifysgol Caeredin https://www.ed.ac.uk/	Academi Fyd-eang Amaethyddiaeth a Diogelwch Bwyd: arloesedd mewn systemau bwyd-amaeth (biogeocemeg priddoedd, prosesau cynhyrchu amaethyddol cynaliadwy, newid yn yr hinsawdd ac ati).
Prifysgol Caerwysg https://www.exeter.ac.uk/	- Canolfan Ymchwil Polisi Gwledig: tîm rhyngddisgyblaethol sy'n canolbwyntio ar bob agwedd ar yr economi wledig a chymdeithas. - Yr Athrofa Tir, yr Amgylchedd, Economeg a Pholisi (LEEP): ei nod yw meithrin gwybodaeth a dealltwriaeth o'r ffordd y caiff tir a'r amgylchedd eu rheoli a'u defnyddio; y polisiau sy'n effeithio ar hyn; yr effaith ar bobl a sut y dylid llunio, arfarnu a gwerthuso polisiau yn well.
Prifysgol Cranfield https://www.cranfield.ac.uk/	Yr Amgylchedd a Bwyd-Amaeth: Gwellu amaethyddiaeth fanwl ac iechyd priddoedd, ymchwilio i allyriadau atmosfferig, allyriadau a'u heffeithiau ar yr amgylchedd, bridio planhigion ac atebion storio bwyd.
Prifysgol Harper Adams https://www.harper-adams.ac.uk/	- Canolfan Ymchwil Cnydau a'r Amgylchedd: treialon maes – cynhyrchu cynaliadwy, diogelu cnydau, ansawdd ar ôl cynaeafu, defnydd effeithlon o ddŵr gan blanhigion - Y Ganolfan Ffermio Manwl Genedlaethol: defnyddio dulliau ffermio manwl - Canolfan Pridd a Dŵr: hyfforddiant, gweithdai, arddangosiadau a chyngor - Canolfan Amaethyddiaeth seiliedig ar Dystiolaeth: mae'n 'cyfod' y dystiolaeth bresennol am y sector bwyd-amaeth er mwyn helpu i wneud penderfyniadau ym meysydd polisi, arfer ac ymchwil ac yn y diwydiant - Grŵp lliniaru sychder: y gallu i wrthsefyll sychder mewn amrywiaeth eang o gnydau

Prifysgol Lincoln https://www.lincoln.ac.uk/home/	Nod Athrofa Technoleg Bwyd-Amaeth Lincoln yw cefnogi a gwella cynhyrchiant, effeithlonrwydd a chynaliadwyedd ym meysydd bwyd a ffermio drwy ymchwil, addysg a thechnoleg. Mae ymchwilwyr y Sefydliad wrthi'n datblygu technolegau sy'n ychwanegu gwerth neu'n datrys heriau ym mhob rhan o'r gadwyn fwyd, 'o'r fferm i'r fforc'.
Prifysgol Newcastle https://www.ncl.ac.uk/	Athrofa Ymchwil ac Arloesedd Bwyd-Amaeth (IAFRI): cyd-fenter rhwng Prifysgol Newcastle a Fera. Mae'r ffocws ar amaeth-ddadansoddeg a bioddiogelwch, cynnyrch bwyd-amaeth a diogelu bwyd-amaeth a diogelwch bwyd a maeth.
Prifysgol Nottingham https://www.nottingham.ac.uk/	Mae gwaith ymchwil yn mynd i'r afael â materion allweddol go iawn mewn gwyddorau microbaidd, gwyddorau planhigion, anifeiliaid a bwyd a gwyddor amgylcheddol (mae themâu ymchwil yn cynnwys planhigion a chnydau, pridd a'r amgylchedd ac amaethyddiaeth gynaliadwy).
Prifysgol Nottingham Trent https://www.ntu.ac.uk/	Y Ganolfan ar gyfer Gwyddor Anifeiliaid a Gwyddorau Gwledig ac Amgylcheddol: amgylchedd naturiol (cylchu maethynnau, llygrwyr mewn priddoedd, dŵr a gwaddod) ac amaethyddiaeth gynaliadwy a diogelwch bwyd.
Prifysgol Reading http://www.reading.ac.uk/	- Amaethyddiaeth, bwyd ac iechyd, gan gynnwys amaethyddiaeth gynaliadwy a bwyd (e.e. dwysáu cynaliadwy drwy ffisioleg planhigion, modelu cnydau a gwyddor hadau). - Yr amgylchedd, gan gynnwys dealltwriaeth o newid yn yr hinsawdd.
Prifysgol Warwick https://warwick.ac.uk/	Canolfan Cnydau Warwick: ymchwil drosi ym meysydd amaethyddiaeth gynaliadwy, garddwriaeth a diogelwch bwyd gan gynnwys systemau cynhyrchu bwyd, plâu, clefydau a rheoli chwyn a gwyddorau planhigion a chnydau.
Prosiect Allerton https://www.gwct.org.uk/allerton/	Mae Prosiect Allerton (a redir gan yr Ymddiriedolaeth Anifeiliaid Hela a Chadwraeth Bywyd Gwyllt) yn cyfuno ffermio masnachol, ymchwil ac arddangosiadau. Ei nod yw ymchwilio i effaith gwahanol ddulliau o ffermio ar fywyd gwyllt a'r amgylchedd. Mae'r gwaith ymchwil yn cynnwys systemau â, bioleg ac iechyd pridd, cnydau gorchudd ac ati.
Rothamsted Research https://www.rothamsted.ac.uk/	Mae Rothamsted yn canolbwyntio ar wyddoniaeth amaethyddol strategol gan gynnwys amaethyddiaeth gynaliadwy (gan gynnwys prosesau pridd mewn systemau tir â'r glaswelltir), allyriadau nwyon tŷ gwydr a newid yn yr hinsawdd), gwyddorau planhigion (gan gynnwys cynhyrchiant ac ansawdd planhigion, defnyddio maethynnau yn effeithlon) a diogelu cnydau.
Sefydliad James Hutton https://www.hutton.ac.uk/	Arbenigedd ym meysydd gwyddor priddoedd, microbiolog priddoedd i wella cnydau, modelu systemau naturiol ac ymchwil sy'n ymwneud â newid yn yr hinsawdd.

Sefydliad y Gwyddorau Biolegol, Amgylcheddol a Gwledig (IBERS) https://www.aber.ac.uk/cy/ibers/	Ymchwil mewn ymateb i heriau byd-eang megis diogelwch bwyd, bio-ynni a chynaliadwyedd, ac effeithiau newid yn yr hinsawdd. Mae gwyddonwyr IBERS yn gwneud ymchwil i enynnau a moleciwlau, organebau cyfan a'r amgylchedd.
Y Brifysgol Amaethyddol Frenhinol https://www.rau.ac.uk/	Amrywiaeth o brosiectau ymchwil gymhwysol, gan gynnwys amaethyddiaeth gynaliadwy (e.e. technegau sefydlu cnydau, rheoli chwyn, tyfu dau gnwd a phorthiant cnwd cyfan).
Y Ganolfan Ymchwil Organig http://www.organicresearchcentre.com/	Mae rhaglen ymchwil y Ganolfan Ymchwil Organig yn canolbwyntio ar ddulliau organig/amaeth-eicolegol ym meysydd bwyd a ffermio. Mae meysydd ymchwil yn cynnwys bridio planhigion, llai o drin tir, cnydau gorchudd, amaethgoedwigaeth, defnyddio adnoddau mewn ffordd gynaliadwy, allyriadau nwyon tŷ gwydr a lliniaru.
Yr Asiantaeth Ymchwil Bwyd a'r Amgylchedd (Fera) https://www.fera.co.uk/	Gwaith ymchwil a datrys problemau rhyngddisgyblaethol ym meysydd iechyd planhigion a gwenyn, diogelu cnydau, amaethyddiaeth gynaliadwy, ansawdd bwyd a phorthiant a diogelwch cemegol yn yr amgylchedd.
Yr Athrofa Genedlaethol Botaneg Amaethyddol (NIAB-TAG) ac East Malling Research NIAB https://www.niab.com/	Gwaith ymchwil NIAB, mae gwybodaeth yn canolbwyntio ar ddwysáu prosesau cynhyrchu cnydau mewn modd cynaliadwy drwy wella geneteg, agronomi manwl ac adnoddau cymorth penderfynu sy'n seiliedig ar wybodaeth (e.e. treialon rhywogaethau a threialon hwsmonaeth, effeithiau newid yn yr hinsawdd ar brosesau cynhyrchu bwyd a diogelwch bwyd).

12 Cyfeiriadau

- Abdalla, M., Hastings, A., Chadwick, D.R., Jones, D.L., Evans, C.D., Jones, M.B., Rees, R.M. a 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. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 253, 62-81.
- Acharya, B.S., Rasmussen, J. ac Eriksen, J. (2012). Grassland carbon sequestration and emissions following cultivation in a mixed crop rotation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 153, 33-39.
- Adair, E.C., Reich, P.B., Hobbie, S.E. a Knops, J.M.H. (2009). Interactive effects of time, CO₂, N, and diversity on total belowground carbon allocation and ecosystem carbon storage in a grassland community. *Ecosystems*, 12, 1037-1052.
- Adams, B. (2017). *Carbon storage and dynamics in soils and ecosystems in Wales and potential for change in CO₂ sequestration*. Papur a gyflwynwyd yng nghyfarfod y Gaeaf o Grŵp Trafod Priddoedd Cymru. <https://www.soils.org.uk/sites/default/files/events/flyers/carbon-welsh-soils.pdf>
- ADAS (2014). *The economic impact of 2014 winter floods on agriculture in England*. ADAS UK Ltd.
- ADAS a Phrifysgol Leeds (2013). *Climate change and extreme weather events; establishing a methodology for estimating economic impacts on agriculture*. Prosiect Defra SCF0101.
- ADAS, Prifysgol Aberystwyth, Prifysgol Bangor, Centre for Ecology a Rothamsted Research (2014). *Review of land use climate change. An assessment of the evidence base for climate change action in the agriculture, land use and wider food chain sectors in Wales*. ADAS UK Ltd.
- AHDB (2017). *Nutrient Management Guide (RB209)*. Bwrdd Datblygu Amaethyddiaeth a Garddwriaeth.
- AHDB (2018) *Exploring the implications of Brexit for agriculture and horticulture in Wales. Market Intelligence*. Mehefin 2018. Bwrdd Datblygu Amaethyddiaeth a Garddwriaeth.
- 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. and Emmett, B.A. (2019a). *Technical Annex 3: Soil Carbon Management. In Environment and Rural Affairs Monitoring & Modelling Programme (ERAMMP): Sustainable Farming Scheme Evidence Review*. Adroddiad i Lywodraeth Cymru (Contract C210/2016/2017). Centre for Ecology & Hydrology Prosiect NEC06297.
- Alison, J., Robinson, D.A., Smart, S.M., Thomas, A., and Emmett, B.A. (2019b). *ERAMMP Year 1 Report 21: GMEP Outstanding Analysis Part 2 – Revisiting Trends in Topsoil Carbon from CS2007 to GMEP 2013-2016*. Adroddiad i Lywodraeth Cymru (Contract C210/2016/2017). Centre for Ecology & Hydrology Prosiect NEC06297.
- Alonso, I., Weston, K., Gregg, R. a Morecroft, M. (2012). *Carbon storage by habitat: Review of the evidence of the impacts of management decisions and condition of carbon stores and sources*. Natural England.
- Alvarez, R. (2005). A review of nitrogen fertiliser and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management*, 21, 38-52.
- Amberger, A. (1989). Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20, 1933-1955.

Anthony, S., Jones, I., Naden, P., Newell-Price, P., Jones, D., Taylor, R., Gooday, R., Hughes, G., Zhang, Y., Fawcett, L., Simpson, D., Turner, A., Fawcett, C., Turner, D., Murphy, J., Arnold, A., Blackburn, J., Duerdoth, C., Hawczak, A., Pretty, J., Scarlett, P., Laize, C., Douthwright, T., Lathwood, T., Jones, M., Peers, D., Kingston, H., Chauhan, M., Williams, D., Rollett, A., Roberts, J., Old, G., Roberts, C., Newman, J., Ingram, W., Harman, M., Wetherall, J. ac Edwards-Jones, G. (2012) *Contribution of the Welsh agri-environment schemes to the maintenance and improvement of soil and water quality, and to the mitigation of climate change*. Llywodraeth Cymru, Lot 3 Contract Monitro Amaeth-amgylchedd a Gwasanaethau Technegol: Pridd, Dŵr a Newid Hinsawdd (Ecosystemau), Rhif 183/2007/08, Adroddiad Terfynol.

ASC (2016). *UK Climate Change Risk Assessment 2017 Evidence Report – Summary for Wales*. Is-bwyllgor Addasu'r Pwyllgor ar Newid Hinsawdd, Llundain.

Attard, E., Le Roux, X., Charrier, X., Delfosse, O., Guillaumaud, N., Lemaire, G. a Recous, S. (2016). Delayed and asymmetric responses of soil C pools and N fluxes to grassland/cropland conversions. *Soil Biology and Biochemistry*, 97, 31–39.

Bai, X., Huang, Y., Ren, W., Coyne, M., Jacinthe, P-A., Tao, B., Hui, D., Yang, J. a Matocha, C. (2018). Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 25, 2591-2606.

Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., van der Wal, T., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A. ac Eory, V. (2017). Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics. *Sustainability*, 9, 1339, doi:10.3390/su9081339.

Bhogal, A., Nicholson, F.A., Rollett, A. a Chambers, B.J. (2009). *Best practice for managing soil organic matter in agriculture. Manual of methods for lowland agriculture*. Prosiect Defra SP08016.

Bhogal, A., Nicholson, F.A., Rollett, A., Taylor, M., Litterick, A., Whittingham, M.J. a Williams, J.R. (2018). Improvements in the quality of agricultural soils following organic material additions depend on both the quantity and quality of the materials applied. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2:9 doi: 10.3389/fsufs.2018.00009

Blake, J.J., Spink, J.H a Mullard, M.J (2004). *Successful establishment of oilseed rape*. Cynhadledd HGCA 2004: Managing soils and roots for profitable production.

Bond, W.J. a Keeley, J.E. (2005). Fire as a global herbivore: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 387-394.

Bond, W.J., Woodward, F.I. a Midgley, G.F. (2005). The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist*, 165, 525-538.

Bradley, R.I., Milne, R., Bell, J., Lilly, A., Jordan, C. a Higgins, A. (2005). A soil carbon and land use database for the United Kingdom. *Soil Use and Management*, 21, 363-369.

Brown, I., Thompson, D., Bardgett, R., Berry, P., Crute, I., Morison, J., Morecroft, M., Pinnegar, J., Reeder, T. a Topp, K. (2016). *UK Climate Change Risk Assessment Evidence Report: Chapter 3, Natural Environment and Natural Assets*. Adroddiad a baratowyd i Is-bwyllgor Addasu'r Pwyllgor ar Newid Hinsawdd.

BSFP (2019). *The British survey of fertiliser practice. Fertiliser use on farm crops for crop year 2018*. Ystadegau Gwladol.

- Buckingham, S., Cloy, J., Topp, K., Rees, R. a Webb, J. (2013). *Capturing cropland and grassland management impacts on soil carbon in the UK Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) inventory*. Prosiect Defra: SP1113.
- Cannell, M.G.R., Van Noordwijk, M. ac Ong, C.K. (1996). The central agroforestry hypothesis: The trees must acquire resource that the crop would not otherwise acquire. *Agroforestry Systems*, 34, 27-31.
- Cardenas, L.M., Thorman, R., Ashlee, N., Butler, M., Chadwick, D., Chambers, B., Cuttle, S., Donovan, N., Kingston, H., Lane, S., Dhanoa, M.S. a Scholefield, D. (2010). Quantifying annual N₂O emission fluxes from grazed grassland under a range of inorganic fertiliser nitrogen inputs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 136, 218-226.
- Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B.G., Dupraz, C., Durand, C., Kouakoua, E. a Chenu, C. (2017). Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 236, 243-255.
- CCC (2018). *Land use: Reducing emissions and preparing for climate change*. Y Pwyllgor ar Newid Hinsawdd.
- CCC (2019). *Net Zero: The UK's contribution to stopping global warming*. Y Pwyllgor ar Newid Hinsawdd.
- CCC (2020). *Land use: Policies for a Net Zero UK*. Y Pwyllgor ar Newid Hinsawdd.
- Chadwick, D., Misselbrook, T., Gilhespy, S., Williams, J., Bhogal, A., Sagoo, E., Nicholson, F., Webb, J., Anthony, S. a Chambers, B. (2005). *Ammonia emissions and crop N use efficiency*. Adroddiad Cyfansoddol ar gyfer Prosiect Defra NT2605 (CSA 6579).
- Chadwick, D.R., Rees, R.M, Williams, J.R., Smith, P., Skiba, U.M., Hiscock, K., Manning, A.J., Watson, C., Smith, K.A., Anthony, S.G., Moorby, J. a Mottram, T. (2011). Improving the national inventory of agricultural nitrous oxide emissions from the UK (InveN₂Ory). Non-CO₂ Greenhouse Gases (NCGG-6) Science, Policy and Integration (Cofnodion y Gynhadledd). 2011. Amsterdam
- Chang, J., Ciais, P., Viovy, N., Vuichard, N., Herrero, M., Havl, P., Wang, X., Sultan, B. a Soussana, J., (2016). Effect of climate change, CO₂ trends, nitrogen addition, and land-cover and management intensity changes on the carbon balance of European grasslands. *Global Change Biology*, 22, 338-350.
- Chenu, C., Angers, D.A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D. a Balesdent, J. (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil & Tillage Research*, 188, 41-52.
- Cillis, D., Maestrini, B., Pezzuolo, A., Marinello, F. a Sartori, L. (2018). Modelling soil organic carbon and carbon dioxide emissions in different tillage systems supported by precision agriculture technologies under current climatic conditions. *Soil & Tillage Research*, 183, 51-59.
- Clilverd, H., Buys, G., Thomson, A., Malcolm, H., Henshall, P a Matthews, R. (2019). *Mapping Carbon Emissions & Removals for the Land Use, Land Use Change & Forestry Sector*. Adroddiad seiliedig ar Restr 1991-2017. Rhestr Allyriadau Atmosfferig Genedlaethol, AEA Technology. Adran Busnes, Ynni a Strategaeth Ddiwydiannol.
- Conant, R.T. a Paustian, K. (2002). Potential soil carbon sequestration in overgrazed grassland ecosystems. *Global Biogeochemical Cycles*, 16, 90.1-90.9.

Conant, R.T., Cerri, C.E.P, Osborne, B.B. a Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, 27, 662-668.

Cowan, N., Carnell, E., Skiba, U., Dragosits, U., Drewer, J. and Levy, P. (2020). Nitrous oxide emission factors of mineral fertilisers in the UK and Ireland: A Bayesian analysis of 20 years of experimental data. *Environment International*, 135, 105366.

Cox, T.S., Glover, J.D., Van Tassel, D.L., Cox, C.M. a Dehaan, L.R. (2006). Prospects for Developing Perennial Grain Crops. *Bioscience*, 56, 649-659.

Craine, J.M., Ocheltree, T.W., Nippert, J.B., Towne, E.G., Skibbe, A.M., Kembel, S.W. a Fargione, J.E. (2013). Global diversity of drought tolerance and grassland climate-change resilience *Nature Climate Change*, 3, 63-67.

Crews, T.E. a Cattani, D.J. (2018). Strategies, advances, and challenges in breeding perennial grain crops. *Sustainability*, 10, 2192. doi:10.3390/su10072192.

Crews, T.E. a Rumsey, B.E. (2017). What agriculture can learn from native ecosystems in building soil organic matter: A review. *Sustainability*, 9, 578. doi:10.3390/su9040578.

Culman, S.W., Snapp, S.S., Ollenburger, M., Basso, B. a DeHaan, L.R. (2013). Soil and water quality rapidly responds to the perennial grain Kernza wheatgrass. *Agronomy, Soils & Environmental Quality*, 105, 735-744.

Cyfoeth Naturiol Cymru (2016). *Adroddiad o Gyflwr Adnoddau Naturiol 2016: Asesu'r Modd y Rheolir Adnoddau Naturiol yn Gynaliadwy. Atodiad Technegol i Bennod 3. Adroddiad Terfynol*. Cyfoeth Naturiol Cymru.

Cynulliad Cenedlaethol Cymru (2018). *Paratoi ar gyfer Brexit. Adrodd ar barodrwydd y sector bwyd a diod yng Nghymru*.

Daepf, M., Nosberger, J. a Luscher, A. (2001). Nitrogen fertilization and developmental stage alter the response of *Lolium perenne* to elevated CO₂. *New Phytologist*, 150, 347-358.

Davidson, E.A. (2015). Soil carbon in a beer can. *Nature Geoscience*, 8, 748-749.

Defra. (2019). *Crops grown for bioenergy in the UK: 2017*. Adran yr Amgylchedd, Bwyd a Materion Gwledig.

Defra (2019a). *Greenhouse gas mitigation practices – England Farm Practices Survey 2019*. Adran yr Amgylchedd, Bwyd a Materion Gwledig.

Deryng, D., Elliott, J., Folberth, C., Muller, C., Pugh, T.A.M., Boote, K.J., Conway, D., Ruane, A.C., Gerten, D., Jones, J.W., Khabarov, N., Olin, S., Schapho, S., Schmid, E., Yang, H. a Rosenzweig, C. (2016). Regional disparities in the beneficial effects of rising CO₂ concentrations on crop water productivity. *Nature Climate Change*, 6, 786-790.

de Klein, C.A.M ac Eckard, R.J. (2008). Targeted technologies for nitrous oxide abatement from animal agriculture *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 48, 14-20.

Dobbie, K.E a Smith, K.A. (2001). The effect of temperature, water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol. *European Journal of Soil Science*, 52, 667-673.

Dobbie, K.E. a Smith, K.A. (2003). Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: the impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. *Global Change Biology*, 9, 204-218.

- Duchene, O., Celette, F., Ryan, M.R., DeHaan, L.R., Crews, T.E. a David, C. (2019). Integrating multipurpose perennial grains crops in Western European farming systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 284, 106591.
- Earl R. (1997). Prediction of trafficability and workability from soil moisture deficit. *Soil Tillage Research*, 40, 155-168.
- EC (2018). *Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the development of plant proteins in the European Union*. COM (2018) 757 Final.
- Elliot, J., Skirvin, D., Ffoulkes, C., Wilson, L., Wynn, S., Critchley, N., Whiteley, I. ac Image, M. (2016). *UK land use projections and the implications for climate change mitigation and adaptation*. ADAS UK Ltd.
- Evans, C., Rawlins, B., Grebby, S., Scholefield, P. a Jones, P. (2015). *Glastir Monitoring & Evaluation Programme. Mapping the extent and condition of Welsh peat*. Llywodraeth Cymru (Cyfeirnod y contract: C147/2010/11). NERC/Centre for Ecology & Hydrology (Prosiect CEH: NEC04780).
- Evans, R. (1997). Soil erosion in the UK initiated by grazing animals. *Applied Geography*, 17, 127-141.
- Eze, S., Palmer, S.M. a Chapman, P.J. (2018). Soil organic carbon in grasslands: effects of inorganic fertilisers, liming and grazing in different climate settings. *Journal of Environmental Management*, 223, 74-84.
- FAO (2019). *Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems. Guidelines for assessment*. (Fersiwn 1). Sefydliad Bwyd ac Amaethyddiaeth y Cenhedloedd Unedig.
- Feliciano, D., Ledo, A., Hillier, J. a Nayak, D.R. (2018). Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254, 117-129.
- Firestone, M.K. a Davidson, E.A. (1989). *Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil*. Yn: Andreae, M.O., Schimel, D.S. (Golygyddion), *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere*. John Wiley & Sons, Inc., New York, tt. 7-21.
- Fornara, D.A., Steinbeiss, S., McNamara, N.P., Gleixner, G., Oakley, S., Poulton, P.R., Macdonald, A.J. a Bardgett, R.D. (2011). Increases in soil organic carbon sequestration can reduce the global warming potential of long-term liming to permanent grassland. *Global Change Biology*, 17, 1925-1934.
- Freibauer, A., Rounsevell, M.D.A., Smith, P. a Verhagen, J. (2004). Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, 122, 1-23.
- Gleixner, G., Kramer, C., Hahn, V. a Sachse, D. (2005). *The effect of biodiversity on carbon storage in soils*. Yn: Scherer-Lorenzen, M., Korner, C., Schulze, E.D. (Golygyddion), *Forest Diversity and Functions: Temperate and Boreal Systems*. Springer, Berlin, tt. 165-183.
- Gosling, P., van der Gast, C. a Bending, G.D. (2017). Converting highly productive arable cropland in Europe to grassland: a poor candidate for carbon sequestration. *Scientific Reports*, 7, 10493.
- Graves, A.R., Burgess, P.J., Palma, J.H.N., Herzog, F., Moreno, G., Bertomeu, M., Dupraz, C., Liagre, F., Keesman, K., van der Werf, W., Koeffeman de Nooy, A. a van den Briel, J.P. (2007). Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. *Ecological Engineering*, 29, 434-449.
- Guo, L.B. a Gifford, R.M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8, 345-360.

- Hatfield, J.L., Boote, K.J., Kimball, B.A., Ziska, L.H., Izaurralde, R.C., Ort, D., Thomason, A.M. a Wolfe, D. (2011). Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agronomy Journal*, 103, 351-370.
- Hill, B., Bradley, D. a Williams, E. (2017). Evaluation of knowledge transfer; conceptual and practical problems of impact assessment of Farming Connect in Wales. *Journal of Rural Studies*, 49, 41-49.
- Hungate, B.A., Holland, E.A., Jackson, R.B., Chapin, F.S., Mooney, H.A. a Field, C.B. (1997). The fate of carbon in grasslands under carbon dioxide enrichment. *Nature*, 388, 576-579.
- Hunt, H.W., Trlica, M.J., Redente, E.F., Moore, J.C., Detling, J.K., Kittel, T.G.F., Walter, D.E., Fowler, M.C., Klein, D.A. ac Elliot, E.T. (1991). Simulation model for the effects of climate change on temperate grassland ecosystems. *Ecological Modelling*, 53, 205-246.
- Hutchinson, J.J., Campbell, C.A. a Desjardins, R.L. (2007). Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142, 288-302.
- IGER (2003). *Influence of climate change on the sustainability of grassland systems in England and Wales* (CTE9907) - CC0359. Institute of Grassland and Environmental Research, Okehampton.
- IPCC (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2019). *Climate change and land glossary*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jackson, M.B. (2004). The Impact of Flooding Stress on Plants and Crops.
http://www.plantstress.com/articles/waterlogging_i/waterlog_i.htm
- Jackson, M.B. a Colmer, T.D. (2005). Response and adaptation by plants to flooding stress. *Annals of Botany*, 96 (4), 501–505.
- Jackson, R.B., Banner, J.L., Jobbagy, E.G., Pockman, W.T. a Wall, D.H. (2002). Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. *Nature*, 418, 623-626.
- Johnston, A.E., Poulton, P.R. a Coleman, K. (2009). Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy*, 101, 1-57.
- Jones, M.B. a Donnelly, A. (2004). Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management climate and elevated CO₂. *New Phytologist*, 164, 423-439.
- JRC (2010). *Impacts of the EU biofuel target on agricultural markets and land use: a comparative modelling assessment*. JRC Scientific and Technical Reports.
- Keay, C.A. a Hannam, J.A. (2020). *The effect of climate change on agricultural land classification (ALC) in Wales*. Rhaglen Galluogrwydd, Addasrwydd a Hinsawdd, adroddiad i Lywodraeth Cymru
- Keay, C.A., Jones, R.J.A., Procter, C., Chapman, V., Barrie, I., Nias, I., Smith, S. ac Astbury, S. (2014). *The Impact of climate change on the capability of land for agriculture as defined by the Agricultural Land Classification*. Prosiect Defra: SP1104.
- King, A.E. a Blesh, J. (2018). Crop rotations for increased soil carbon: perennality as a guiding principle. *Ecological Applications*, 28, 249-261.
- Knox, J., Morris, J. a Hess, T. (2010). Identifying future risks to UK agricultural crop production: putting climate change in context. *Outlook on Agriculture*, 39, 249-256.

- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623-1627.
- Lal, R. (2010). Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *BioScience*, 60, 708–721.
- Lal, R. (2011). Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. *Food Policy*, 36, S33-S39.
- Li, Q., Yu, P.J., Li, G.D. a Zhou, D.W. (2016). Grass-legume ratio can change soil carbon and nitrogen storage in a temperate steppe grassland. *Soil & Tillage Research*, 157, 23–31.
- Li, S., Tompkins, A.M., Lin, E. a Ju, H. (2016). Simulating the impact of flooding on wheat yield - Case study in East China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 216, 221-231.
- Lowe, J.A., Bernie, D., Bett, P., Bricheno, L., Brown, S., Calvert, D., Clark, R., Eagle, K., Edwards, T., Fossier, G., Fung, F., Gohar, L., Good, P., Gregory, J., Harris, G., Howard, T., Kaye, N., Kendon, E., Krijnen, J., Maisey, P., McDonald, R., McInnes, R., McSweeney, C., Mitchell, J.F.B., Murphy, J., Palmer, M., Roberts, C., Rostron, J., Sexton, D., Thornton, H., Tinkler, J., Tucker, S., Yamazaki, K. a Belcher, S. (2018). *UKCP18 Science Overview Report*. Tachwedd 2018. Y Swyddfa Feteorolegol.
- Luo, Z., Wang, E. a Sun, O.J. (2010). Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 139, 224-231.
- Llywodraeth Cymru (2010). *Bwyd i Gymru, Bwyd o Gymru 2010/2020. Strategaeth Bwyd Cymru*. Llywodraeth Cynulliad Cymru.
- Llywodraeth Cymru (2018a). *Ystadegau Amaethyddol Cymru 2016*. Cyhoeddiad Ystadegau Gwladol.
- Llywodraeth Cymru (2018b) *Coetiroedd i Gymru. Strategaeth Llywodraeth Cymru ar gyfer Coetiroedd a Choed*.
- Malik, A.I, Colmer, T.D, Lambers, H, Setter, T.L a Schortemeyer, M. (2002). Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New Phytologist*, 153, 225-236.
- Mestdag, I., Lootens, P., Van Cleemput, O. a Carlier, L. (2006). Variation in organic-carbon concentration and bulk density in Flemish grassland soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169, 616-622.
- 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., van Wesemael, B. a Winowiecki, L. (2017). *Soil carbon 4 per mille. Geoderma*, 292, 59-86.
- Misselbrook, T.H., Cardenas, L.M., Camp, V., Thorman, R.E., Williams, J.R., Rollett, A.J. a Chambers, B.J. (2014). An assessment of nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emissions from UK agriculture. *Environmental Research Letters*, 9, 115006
- Modolo, L.V., da-Silva, C.J., Brandão, D.S. a Chaves, I.S. (2018). A mini review on what we have learned about urease inhibitors of agricultural interest since mid-2000s. *Journal of Advanced Research*, 13, 29-37.
- Morison, J., Matthews, R., Miller, G., Perks, M., Randle, T., Vanguelova, E., White, M. ac Yamulki, S. (2012). *Understanding the carbon and greenhouse gas balance of forests in Britain*. Adroddiad Ymchwil. Y Comisiwn Coedwigaeth.

- Moxley, J., Anthony, S., Begum, K., Bhogal, A., Buckingham, S., Christie, P., Datta, A., Dragosits, U., Fitton, N., Higgins, A., Myrgeiotis, V., Kuhnert, M., Laidlaw, S., Malcolm, H., Rees, B., Smith, P., Tomlinson, S., Topp, K., Watterson, J., Webb, J. and Yeluripati, J. (2014). *Capturing cropland and grassland management impacts on soil carbon in the UK LULUCF Inventory*. Prosiect Defra: SP1113.
- NAEI (2019). *Devolved administration GHG inventory 1991-2017 (database)*. Rhestr Allyriadau Atmosfferig Genedlaethol, AEA Technology.
- Nano, C.E.M. and Clarke, P.J. (2011). How do drought and fire influence the patterns of re-sprouting in Australian deserts? *Plant Ecology*, 212, 2095-2110.
- Newell Price, P., Harris, D., Taylor, M., Williams, J.R., Anthony, S.G., Duethmann, D., Gooday, R.D., Lord, E.I., Chambers, B.J., Chadwick, D.R. and Misselbrook, T.H. (2011). *An Inventory of Mitigation Methods and Guide to their Effects on Diffuse Water Pollution, Greenhouse Gas Emissions and Ammonia Emissions from Agriculture*. Prosiect Defra: WQ0106.
- Newell Price, J.P., Smith, K. and Williams, J.R. (2016). *Review of evidence on the principles of crop nutrient management and nutrition for grass and forage crops*. Adolygiad o Ymchwil Rhif 3110149017 3110149017
- Paradelo, R., Virto, I. and Chenu, C. (2015). Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 202, 98-107.
- Poeplau, C. and Don, A. (2013). Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. *Geoderma*, 192, 189-201.
- Poeplau, C. and Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – a meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200, 33-41.
- Poeplau, C., Zopf, D., Greiner, B., Geerts, R., Korvaar, H., Thumm, U., Don, A., Heidkamp, A. and Flessa, H. (2018). Why does mineral fertilization increase soil carbon stocks in temperate grasslands? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 265, 144-155.
- Posthumus, H., Morris, J., Hess, T.M., Neville, D., Phillips, E. and Baylis, A. (2009). Impacts of the summer 2007 floods on agriculture in England. *Journal of Flood Risk Management*, 2, 182-189.
- Powlson, D.S., Bhogal, A., Chambers, B.J., Coleman, K., Macdonald, A.J., Goulding, K.W.T. and 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. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 146, 23-33.
- Powlson, D.S., Stirling, C.M., Jat, M.L., Gerard, B.G., Palm, C.A. Sanchez, P.A. and Cassman, K.G. (2014). Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 678-683.
- Pucheta, E., Bonamici, I., Cabido, M. and Diaz, S. (2004). Below-ground biomass and productivity of a grazed site and a neighbouring ungrazed enclosure in a grassland in central Argentina. *Austral Ecology*, 29, 201-208.
- Qi, A., Holland, R.A., Taylor, G. and Richter, G.M. (2018). Grassland futures in Great Britain - productivity assessment and scenarios for land use change opportunities. *Science of the Total Environment*, 634, 1108-1118.
- Reeder, J.D. and Schuman, G.E. (2002). Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed grass and short grass rangelands. *Environmental Pollution*, 116, 457-463.

- Rees, R.M., Bingham, I.J., Baddeley, J.A. a Watson, C.A. (2005). The role of plants and land management in sequestration of soil carbon in temperate arable and grassland ecosystems. *Geoderma*, 128, 130-154.
- Renforth, P., Manning, D.A.C. a Lopez-Capel, E. (2009). Carbonate precipitation in artificial soils as a sink for atmospheric carbon dioxide. *Applied Geochemistry*, 24, 1757-1764.
- Rochette, P. (2008). No-till only increases N₂O emissions in poorly aerated soils. *Soil & Tillage Research*, 101, 97-100.
- Rounsevell, M.D.A. (1993). A review of soil workability models and their limitations in temperate regions. *Soil Use and Management*, 9, 15-20.
- Russell, S., Blackstock, T., Christie, M., Clarke, M., Davies, K., Duigan, C., Durance, I., Elliot, R., Evans, H., Falzon, C., Frost, R., Ginley, S., Hockley, N., Hourahane, S., Jones, B., Jones, L., Korn, J, Ogden, P., Pagella, S., Pagella, T., Pawson, B., Reynolds, B., Robinson, D., Sanderson, B., Sherry, J., Skates, J., Small, E., Spence, B. a Thomas, C. (2011). *Chapter 20: Status and Changes in the UK's Ecosystems and their Services to Society: Wales*. UK National Ecosystem Assessment: Technical Report.
- Sainju, U.M., Singh, B.P. a Whitehead, W.F. (2002). Long term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. *Soil and Tillage Research*, 63, 167-179.
- Schipper, L.A., Basdon, W.T., Parfitt, R.L., Ross, C., Claydon, J.J. ac Arnold, C. (2007). Large losses of soil C and N from soil profiles under pasture in New Zealand during the past 20 years. *Global Change Biology*, 13, 1138-1144.
- Schrumpf, M., Schulze, E.D., Kaiser, K. a Schumacher, J. (2011). How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? *Biogeosciences*, 8, 1193-1212.
- Semenov, M.A. (2009). Impacts of climate change on wheat in England and Wales. *Journal of the Royal Society Interface*, 6, 343-350.
- Sereke, F., Graves, A.R., Dux, D., Palma, J.H.N. a Herzog, F. (2015). Innovative agroecosystem good and services: key profitability drivers in Swiss agroforestry. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 759-770.
- Shi, L., Feng, W., Xu, J. a Kuzyakov, Y. (2018). Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. *Land Degradation and Development*, 29, 3886-3897.
- Smith, J., Pearce, B.D. a Wolfe, M.S. (2012). Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28, 80-92.
- Soussana, J.F., Loiseau, P., Vuichard, N., Ceschia, E., Balesdent, J., Chevallier, T. ac Arrouays, D. (2004). Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use and Management*, 20, 219-230.
- St. Clair, S.B., Sudderth, E.A., Fischer, M.L., Torn, M.S., Stuart, S.A., Salve, R., Eggetts, D.L. ac Ackerly, D.D. (2009). Soil drying and nitrogen availability modulate carbon and water exchange over a range of annual precipitation totals and grassland vegetation types. *Global Change Biology*, 15, 3018-3030.
- Stockmann, U., Adams, M.A., Crawford, J.W., Field, D.J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A.B., de Remy de Courcelles, V., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D.A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P.C., Chenu, C., Jastrow, J.D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A.G., Parton, W.J.,

- Whitehead, D. a Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 146, 80-99.
- Thomas, B., Collier, R. a Green, L. (2010). *Climate change impacts and adaptation – a risk based approach. Annex 1. Impact of climate change on grassland*. Prosiect Defra: AC0310.
- Tilman, D., Socolow, R., Foley, J.A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., Pacala, S., Reilly, J., Searchinger, T., Somerville, C. a Williams, R. (2009). Beneficial biofuels – the food, energy and environment trilemma. *Science*, 325, 270-271.
- Tomasek, B.J., Williams, M.M. a Davies, A.D. (2017). Changes in field workability and drought risk from projected climate change drive spatially variable risks in Illinois cropping systems. *PLOS ONE*, 12 e0172301.
- Trafford, B.D. (1974). *The Effect of Waterlogging on the Emergence of Cereals*. Field Drainage Experimental Unit Technical Bulletin 74/3.
- Vicente-Serrano, S.M., Gouveia, C., Camarero, J.J., Beguería, S., Trigo, R., López-Moreno, J., Azorín-Molina, C., Pasho, E., Lorenzo-Lacruz, J., Revuelto, J., Morán-Tejeda, E. ac Sanchez-Lorenzo, A. (2012). Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 110, 52-57.
- Weier, K.L., Doran, J.W., Power, J.F., Walters, D.T. (1993). Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon, and nitrate. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 66-72
- Williams, J.R., Newell Price, J.P., Williams, A.P., Gunn, I.D.M. a Williams, A.G. (2019). Technical Annex 1: Soil nutrient management for improved land. Yn *Environment and Rural Affairs Monitoring & Modelling Programme (ERAMMP): Sustainable Farming Scheme Evidence Review*. Adroddiad i Lywodraeth Cymru (Contract C210/2016/2017). Centre for Ecology & Hydrology Prosiect NEC06297.
- Wiseall, C. (2018). *Y Sector Ffermio yng Nghymru*. Briff Ymchwil Cynulliad Cenedlaethol Cymru.
- Y Swyddfa Ystadegau Gwladol (2017). *National population projections: 2016-based projections, methodology*.