



Llywodraeth Cymru
Welsh Government

Rhaglen Dystiolaeth Polisi Pridd 2020-21

**Modelu tyfiant glaswellt yng
Nghymru yn wyneb hinsawdd
sy'n newid**

02 Gorffennaf 2021

Cod yr Adroddiad: SPEP2020-21/01



Nodiadau Cyffredinol ADAS

Rhif y Prosiect: SPEP2020-21/01

Teitl: Modelu tyfiant glaswellt yng Nghymru yn wyneb hinsawdd sy'n newid

Cleient: Llywodraeth Cymru; Polisi Defnydd Tir Amaethyddol a Phridd, Is-adran y Tir, Natur a Choedwigaeth, Adran Materion Gwledig

Dyddiad: 02 Gorffennaf 2021

Statws: Terfynol

Awduron: Dr Daniel Hobley, ADAS Bristol, The Old School, Stillhouse Lane, Bristol, BS3 4EB, Dr Steven Anthony, ADAS Wolverhampton, Titan 1 Offices, Coxwell Avenue, Wolverhampton, WV10 9RT, Isabel Corkley, ADAS Wolverhampton, Titan 1 Offices, Coxwell Avenue, Wolverhampton, WV10 9RT, Dr Alison Rollett, ADAS Gleadthorpe, Netherfield Lane, Meden Vale, Nottinghamshire, NG20 9PD a John Williams, ADAS Boxworth, Battlegate Road, Boxworth, Cambridgeshire, CB23 4NN.

Dyddiad: 02 Gorffennaf 2021

Adolygydd technegol: Isabel Corkley

Dyddiad: 17 Mai 2021

Rheolwr Prosiect ADAS: Alison Rollett

Dyddiad: 02 Gorffennaf 2021

Rheolwr Prosiect Llywodraeth Cymru: Arwel Williams

CRYNODEB GWEITHREDOL

Cyflwyniad

Tir fferm sydd i'w weld fwyaf yng nghefn gwlad Cymru, gyda thir amaethyddol yn gorchuddio 90% o'r wlad. O'r tir fferm hwnnw, mae mwy nag 87% ohono'n cael ei ddefnyddio fel glaswelltiroedd a reolir neu dir pori garw. Felly, mae cynhyrchiant y glaswelltir hwn yn y dyfodol yn allweddol i ddyfodol economi ffermio Cymru, sy'n cynhyrchu £1.6 biliwn mewn allbwn economaidd ac yn cefnogi 3.5% o swyddi yng Nghymru yn 2019 (Department for Environment, Food a Rural Affairs et al., 2020).

Rhagwelir y bydd newid anthropogenig yn yr hinsawdd sy'n gysylltiedig â lefelau CO₂ atmosfferig cynyddol yn newid hinsawdd a thywydd Cymru mewn ffyrdd a fydd yn effeithio'n uniongyrchol ar dyfiant glaswellt. Rhagwelir y bydd tymereddau'n codi o leiaf sawl gradd, glawiad y gaeaf yn codi degau y cant a glawiad yr haf yn gostwng degau y cant, gyda'r union ffigurau'n dibynnu ar ba lwybr allyriadau sy'n digwydd. Mae ffisioleg planhigion yn gyffredinol a glaswellt yn benodol yn sensitif i'r holl newidiadau hyn. Mae glaswellt yn dibynnu ar ddŵr pridd a gyflenwir gan law i dyfu ond, yn yr un modd, ni all dyfu mewn pridd dirlawn. Mae ei dwf yn araf i sero ar dymheredd isel ac mae'n cael ei atal ar dymheredd uchel iawn hefyd, gan adael ffenestr tymheredd optimwm ar gyfer tyfu. Mae'n sensitif i grynodiad CO₂ yn yr atmosffer hefyd, gyda chrynodiadau uwch yn gwneud i blanhigion dyfu'n gyflymach os yw popeth arall yn gyfartal.

Dull gweithredu

Nod y prosiect cwmpasu hwn yw mesur effeithiau posib newid hinsawdd ar gynhyrchiant glaswelltir Cymru yn y blynyddoedd hyd at 2080. Mae'n defnyddio dull astudiaeth achos, gan amcangyfrif newidiadau mewn cynhyrchiant mewn chwe lleoliad fferm gwahanol yng Nghymru, gan gwmpasu ystod ddaearyddol eang ac ystod o amodau amgylcheddol lle tyfir glaswellt. Defnyddiwyd model (Model Glaswellt ADAS, AGM) sy'n defnyddio amodau tywydd ac amodau pridd i ragfynegi tyfiant glaswellt i ragweld maint cnwd un rhywogaeth glaswellt cynrychiadol (rhygwellt) ar y ffermydd hyn. Mae'r model yn gweithredu saith cynhaeaf sefydlog yn ystod y tymor tyfu (gwanwyn-hydref) mewn ffordd sy'n efelychu pori. Roedd y prosiect yn canolbwyntio ar **faint a thymoroldeb y cnwd**, o ran cyfanswm cynnyrch deunydd sych ond hefyd amrywioldeb rhwng blynyddoedd.

Cafodd y model ei sbarduno gan ragfynegiadau tywydd a efelychwyd yn setiau data amcanestyniad hinsawdd diweddaraf y DU (data UKCP18). Mae'r modelau hyn yn cynnig rhagfynegiadau hinsawdd yn seiliedig ar sawl senario allyriadau gwahanol; mabwysiadodd yr astudiaeth hon yr hyn a elwir yn senario allyriadau "busnes fel arfer" (RCP8.5). Mae'r senario hon yn besimistaidd, ond hefyd yr un sydd fwyaf cyson â thueddiadau allyriadau go iawn hyd heddiw (Schwalm et al., 2020). Cafodd y model ei raddnodi i ddata cynnyrch hysbys o ffermydd yng Nghymru neu'n agos iawn at Gymru. Roedd y model yn efelychu maint cnwd ar draws dwy ffenestr amser gynrychiadol ym mhob un o'r chwe safle: 1981-2020 (y llinell sylfaen fodern), a 2041-2080 (y ffenestr ragamcanol).

Mae crynodiadau CO₂ uwch yn cynyddu maint cnwd yn annibynnol ar ei rôl yn sbarduno newidiadau yn yr hinsawdd. Felly, mae'r model yn sensitif nid yn unig i newidynnau hinsoddol, ond hefyd – yn ddewisol – yn uniongyrchol i grynodiadau atmosfferig CO₂. Mae'r nodwedd hon o'r model yn caniatáu i ni: 1. ynysu effaith ffrwythloni CO₂ ar newid ym maint y cnwd, fel y nodir ar wahân i effeithiau hinsoddol, a 2. profi am gysondeb y dull modelu gyda dulliau eraill sy'n asesu newidiadau cymharol mewn cynhyrchiant glaswelltir yn seiliedig ar newidiadau yn y tywydd yn unig.

Canlyniadau allweddol

Maint y cnwd

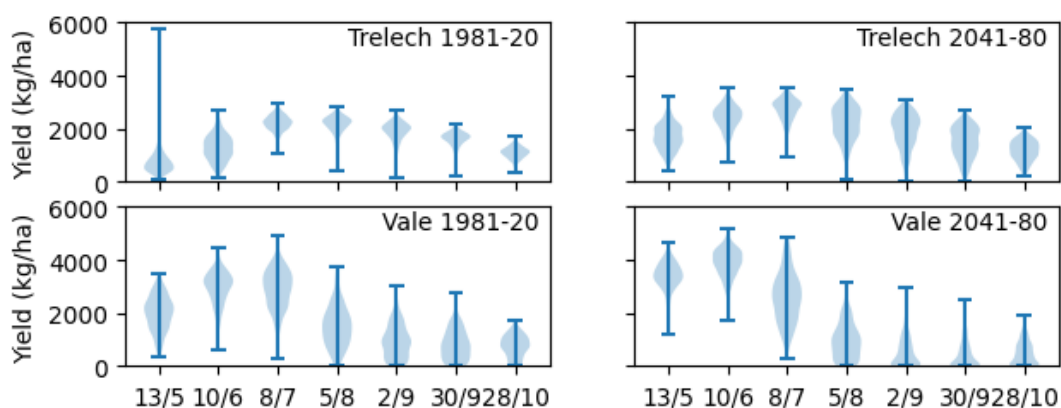
Roedd y model yn rhagweld na chafodd newid hinsawdd fawr o effaith ar faint y cnwd deunydd sych **ym mhedwar o'r chwe safle**. Roedd hyn oherwydd cyfraddau twf gwell wedi'u sbarduno gan gryodiadau CO₂ cynyddol, a wnaeth iawn am ostyngiadau yn y gyfradd dyfu oherwydd llai o law yn bennaf. O'r ddau safle sy'n weddill, gwelodd un ostyngiad o 8% ym maint y cnwd a gwelodd un gynnydd o 24% (Tabl ES1).

Tabl ES1. Newidiadau a ragwelir ym maint y cnwd glaswellt o ganlyniad i newid hinsawdd ar gyfer chwe safle o amgylch Cymru.

| Locality | Median yield 1981-2020 (kg/ha) | Median yield 2041-2080 (kg/ha) | Percent change (%) |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| AngleseyVG | 7,000 | 6,400 | -8 |
| AngleseyAvg | 8,000 | 7,900 | -1 |
| Trelech | 11,000 | 13,700 | 24 |
| Wrexham | 8,300 | 8,400 | 0 |
| Vale | 11,900 | 12,200 | 3 |
| BuilthWells | 13,700 | 14,100 | 3 |

Maint cnwd tymhorol

Er gwaethaf gwydnwch ymddangosiadol maint y cnwd i newid hinsawdd, effeithiwyd yn ddifrifol ar dymoroldeb cynhyrchiant (Ffigur ES1). Ym mhob safle, rhagwelwyd cynnydd mewn cynhyrchiant tymor cynnar. Fodd bynnag, **ar bump o'r chwe safle (pob un ond Tryleg), awgrymodd y rhagfynegiadau y byddai gostyngiad sylweddol ym maint y cnwd glaswellt o fis Gorffennaf ymlaen**, gyda **dim cnwd** wedi'i ragweld ddiwedd yr haf ac yn yr hydref mewn rhai blynyddoedd mewn sawl safle.



Ffigur ES1. Tymoroldeb maint cnwd dros y ffenestri amser llinell sylfaen (chwith) a rhagamcanol (dde) mewn dau safle dangosol, Tryleg (top) a Bro Morgannwg (gwaelod). Mae'r bariau'n dangos ystod lawn o werthoedd a ragwelir, ac mae'r ardaloedd wedi'u lliwio'n dangos dosbarthiad y gwerthoedd mwyaf tebygol, lle mai pwynt lletaf yr ardal wedi'i lliwio yw'r gwerth mwyaf tebygol.

Mae'r pedwar safle sy'n weddill yn debycach i Fro Morgannwg na Thryleg (gweler Ffigur 3.6 yn y prif adroddiad).

Roedd cynnydd ym maint y cnwd yn y gwanwyn yn adlewyrchu tyfiant gwell gan fod diwrnodau oer ychydig yn gynhesach, a hefyd y ffaith bod effaith CO₂ yn cynyddu cyfraddau tyfu. Roedd y gostyngiad mewn cynhyrchiant yn yr haf yn deillio o effaith gyfunol sychder a gwres dwys yn atal tyfiant, a oedd yn gorbwyso unrhyw gynnydd mewn tyfiant oherwydd effeithiau ffrwythloni CO₂. Roedd yr effeithiau hinsoddol hyn yn gyson yn fras â rhagfynegiadau modelau maint cnwd yn y dyfodol sy'n defnyddio mathau o bridd a newidiadau yn y tywydd yn y dyfodol i ragweld newidiadau cymharol mewn maint cnwd (e.e. Ffigurau Ffigur 1.1Ffigur 1.2 yn y prif adroddiad).

Canlyniadau allweddol

Er gwaethaf y ffaith bod maint y cnwd deunydd sych yn y rhan fwyaf o'r safleoedd naill ai'n aros yn gyson neu hyd yn oed yn cynyddu, rhagwelwyd y byddai'r newidiadau a oedd yn cyd-fynd â thymoroldeb tyfiant glaswellt yn cael effeithiau mawr ar y defnydd o laswellt. Mae angen bwydo anifeiliaid sy'n pori ddiwedd yr haf ac yn yr hydref. Er mwyn i dyfiant gwell y gwanwyn eu cynnal, mae'n debygol y dylid troi'r tyfiant cynnar yn silwair. Mae gan hyn nifer o ganlyniadau:

- Efallai y bydd angen addasu arferion seilwaith a rheoli i ganiatáu i dda byw gael eu bwydo â silwair ddiwedd yr haf;
- Gall defnyddio silwair fel bwyd anifeiliaid arwain at wahanol ansawdd porthiant, a allai effeithio ar eu deiet;
- Mae costau ychwanegol (e.e. adeilad, bwydwyr, peiriannau, storio tail ac ati.) yn gysylltiedig â newid o arferion rheoli pori i fwydo fel arfer.

Gallai'r newidiadau hyn arwain at **newidiadau sylweddol i gymeriad ac arferion ffermio bugeiliol mewn llawer o lefydd yng Nghymru.**

Fodd bynnag, mae'r astudiaeth yn awgrymu y bydd newid hinsawdd yn arwain at fwy o gynhyrchiant glaswelltir ar safleoedd ar uchderau uwch, sy'n profi tywydd oer, gwlyb ar hyn o bryd – mae amodau tebyg yn bodoli'n weddol eang dros rannau mewndirol o'r Gorllewin a'r Canolbarth. Mewn safleoedd o'r fath, efallai y bydd yn llai tebygol y bydd angen newidiadau mawr.

CYNNWYS

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | CYFLWYNIAD | 1 |
| 1.1 | Nodau ac Amcanion y Prosiect | 6 |
| 2 | METHODOLEG | 8 |
| 2.1 | Tasg 1. Caffael data, prosesu a chywiro rhagfarn. | 8 |
| 2.1.1 | Dewis safleoedd | 8 |
| 2.1.2 | Dewis a phrosesu data | 10 |
| 2.2 | Tasgau 2 a 3. Modelu maint cnwd glaswellt gyda Model Glaswellt ADAS. | 14 |
| 2.2.1 | Model Glaswellt ADAS..... | 14 |
| 2.2.2 | Graddnodi'r model..... | 16 |
| 2.2.3 | Cyflunio'r model i ragfynegi maint cnwd | 17 |
| 3 | CANLYNIADAU | 19 |
| 3.1 | Tasg 2. Cnwd heb unrhyw ffrwythloni CO ₂ | 19 |
| 3.1.1 | Cyfanswm maint cnwd deunydd sych | 19 |
| 3.1.2 | Tymoroldeb y cynhaeaf | 21 |
| 3.2 | Tasg 3. Effeithiau ffrwythloni CO ₂ ar faint cnwd deunydd sych glaswellt. | 25 |
| 3.2.1 | Cyfanswm maint cnwd deunydd sych | 25 |
| 3.2.2 | Tymoroldeb y cynhaeaf | 26 |
| 4 | TRAFODAETH | 29 |
| 4.1 | Pa safleoedd sy'n ffynnu? | 29 |
| 4.2 | Canlyniadau newidiadau i dymoroldeb | 29 |
| 4.3 | Cymhariaeth â dull categoreiddio | 30 |
| 4.4 | Ffrwythloni CO ₂ | 31 |
| 4.5 | Gwaith pellach..... | 33 |
| 4.5.1 | Newid hinsawdd a strategaethau rheoli | 33 |
| 4.5.2 | Ansawdd glaswellt | 33 |
| 4.5.3 | Ansicrwydd systematig | 34 |
| 5 | CYFEIRIADAU | 35 |

TABLAU

| | |
|---|----|
| Tabl 1.1: Maint cnwd deunydd sych glaswellt tebygol (t/ha) ar ystod o gyfraddau N gwrtaith, o dan wahanol ddsbarthiadau tyfiant | 6 |
| Tabl 2.1: Safleoedd astudio ar gyfer y prosiect | 9 |
| Tabl 3.1: Newidiadau ym maint y cnwd deunydd sych blynyddol canolrif rhwng y cyfnodau astudio ar gyfer pob safle (dim ymateb CO ₂)..... | 21 |
| Tabl 3.2: Newidiadau ym maint y cnwd deunydd sych blynyddol canolrif rhwng y cyfnodau astudio ar gyfer pob safle (model CO ₂ -sensitif)..... | 26 |
| Tabl 4.1: Tymereddau dyddiol a symiau glawiad cymedrig ar gyfer pob safle astudio..... | 29 |
| Tabl 4.2: Crynodeb o fetrigau allweddol sy'n cymharu allbynnau mapio categorïau RB209 gydag allbynnau AGM..... | 30 |

FFIGURAU

| | |
|---|----|
| Ffigur 1.1: Dosbarthiadau tyfiant glaswellt ar gyfer Cymru o dan senario llinell sylfaen..... | 2 |
| Ffigur 1.2: Dosbarthiadau tyfiant glaswellt yn 2080 o dan senarios hinsawdd allyriadau uchel UKCP18..... | 3 |
| Ffigur 1.3: Cyfanswm glawiad yr haf (Ebrill-Medi) ar gyfer Cymru o dan senario llinell sylfaen4 | |
| Ffigur 1.4: Gweadau pridd yng Nghymru | 5 |
| Ffigur 2.1: Dosbarthiad lleoliadau safle | 10 |
| Ffigur 2.2: Safleoedd prawf GM 20 a ddefnyddir i raddnodi Model Glaswellt ADAS | 16 |
| Ffigur 2.3: Gwerthoedd graddnodi paramedr <i>b</i> ar gyfraddau ffrwythloni gwahanol ar gyfer pob safle | 17 |
| Ffigur 3.1: Cyfanswm cnwd deunydd sych blynyddol efelychiadol mewn chwe safle astudio yn ffenestr llinell sylfaen 1981-2020 (dim ymateb CO ₂)..... | 20 |
| Ffigur 3.2: Cyfanswm cnwd deunydd sych blynyddol efelychiadol mewn chwe safle astudio yn ffenestri llinell sylfaen 1981-2020 ac amcanestyniad 2041-2080 (dim ymateb CO ₂) | 21 |
| Ffigur 3.3: Maint cnwd deunydd sych efelychiadol ym mhob cynhaeaf mewn chwe safle astudio (dim ymateb CO ₂)..... | 23 |
| Ffigur 3.4: Ffracsiwn efelychiadol o gyfanswm cnwd cyn mis Awst mewn chwe safle astudio (dim ymateb CO ₂)..... | 24 |
| Ffigur 3.5: Gwasgariad maint cnwd deunydd sych efelychiadol mewn chwe safle (model CO ₂ -sensitif)..... | 25 |
| Ffigur 3.6: Maint cnwd deunydd sych efelychiadol ym mhob cynhaeaf mewn chwe safle astudio (model CO ₂ -sensitif)..... | 27 |
| Ffigur 3.7: Ffracsiwn efelychiadol o gyfanswm cnwd cyn mis Awst mewn chwe safle astudio (model CO ₂ -sensitif)..... | 28 |

1 CYFLWYNIAD

Rhagwelir y bydd newid hinsawdd yn dod â newidiadau sylweddol i hinsawdd Cymru dros y ganrif nesaf. Mae'r rhain yn cynnwys newidiadau i dymheredd, glawiad, gwynt a haul, i gyd o ran maint a phatrymau ar draws y flwyddyn. Mae tyfiant cynydu yn dibynnu'n benodol ar yr un paramedrau (e.e., Dellar et al., 2018; Schapendonk et al., 1998; Semenov, 2009; Whiteley et al., 2018), felly mae'n debygol y bydd newid hinsawdd parhaus yng Nghymru yn effeithio ar allbynnau amaethyddol. Mae glaswelltir yn elfen allweddol o amaethyddiaeth Cymru: mae 87% o dir fferm Cymru yn laswelltir neu'n dir pori garw yn 2020, gan gynnal 9 miliwn o ddefaid ac ŵyn ac 1.1 miliwn o wartheg a lloi (Neil, 2020). O ganlyniad, mae'n bwysig iawn deall effaith newid hinsawdd ar faint cnwd glaswellt mewn systemau da byw sy'n pori.

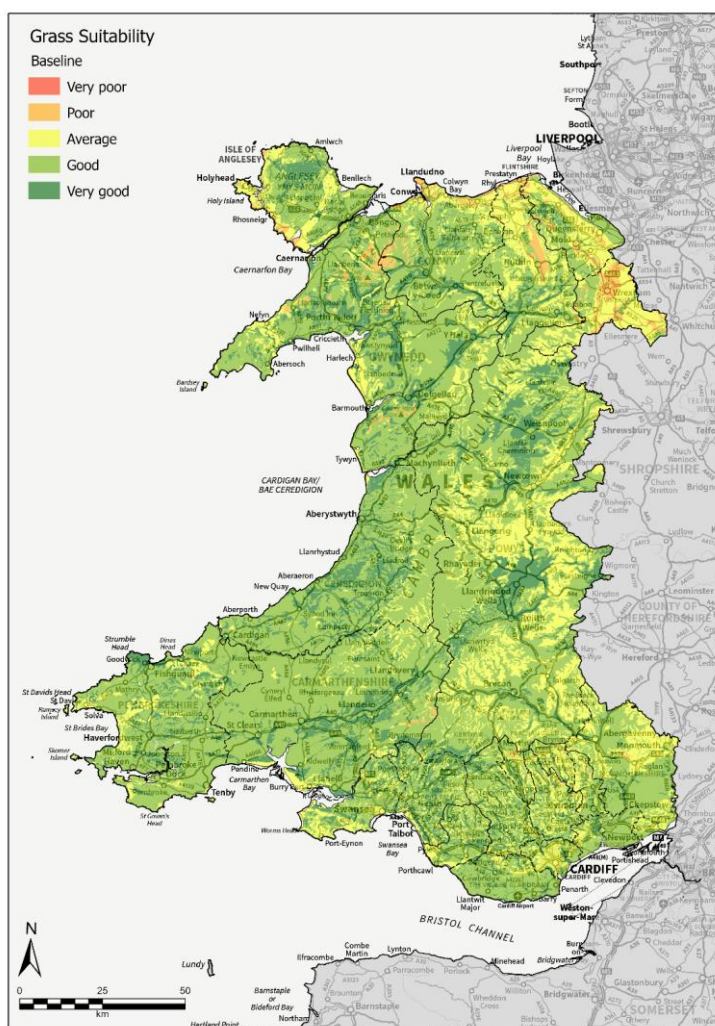
Mae allyriadau CO₂ yn y dyfodol yn parhau i fod yn ansicr mewn amcanestyniadau modern o faint ac effeithiau newid hinsawdd. Mae'r amcanestyniadau hinsawdd diweddaraf ar gyfer y DU (the Met Office UK Climate Projections, UKCP18; Met Office Hadley Centre, 2018a), yn debyg i ddulliau eraill a adroddwyd gan y Panel Rhynglywodraethol ar y Newid yn yr Hinsawdd (e.e., IPCC, 2014), yn mynd i'r afael â'r ansicrwydd hwn drwy foddelu canlyniadau yn seiliedig ar gyfres o senarios allyriadau posibl a elwir yn Llwybrau Crynoadau Cynrychioliadol (RCPs). Mae'r pedwar llwybr, RCP2.6, RCP4.5, RCP6, a RCP8.5, wedi'u henwi ar ôl y newid yn y cydbwysedd ymbelydrol (mewn W / m²) yn yr atmosffer erbyn 2100, felly fe'u rhestrir yma yn nhrefn maint y newid yn yr hinsawdd. O'r rhain, gelwir y senario RCP8.5 yn aml yn senario "busnes fel arfer", sy'n cynrychioli dyfodol lle mae allyriadau'n parhau fwy neu lai yr un fath. Mae'r data diweddaraf ar ostyngiadau allyriadau byd-eang yn dangos bod allyriadau yn parhau ar y trywydd hwn (Schwalm et al., 2020).

Gwyddom fod y paramedrau tywydd a restrir uchod – tymheredd, glawiad, gwynt a haul – i gyd yn gwneud cyfraniad allweddol at faint cnwd amaethyddol. Fodd bynnag, nid yw ymatebion cynydu'n llinol i'r newidynnau hyn bob amser. Mae planhigion yn tueddu i dyfu orau o fewn ystod ddiffiniedig, gymedrol o dymhereddau; bydd tymhereddau oerach a chynhesach yn lleihau cyfraddau tyfu. Yn achos rhygwellt, mae tyfiant fwy neu lai'n stopio o dan 4 °C ac uwchben 34-45 °C (Brereton et al., 1996; Romera et al., 2009). Mae cynydu angen lleithder pridd i drydarthu, sy'n cael ei gyflenwi gan lawiad yn y pen draw; bydd straen dŵr a achosir gan briddoedd sychach yn atal tyfiant (e.e., Christy et al., 2018; Dellar et al., 2018; Hess et al., 2020). Fodd bynnag, bydd priddoedd dirlawn hefyd yn atal tyfiant (Hess et al., 2020; Laidlaw, 2009). Mae lleithder a phwysau anwedd yn effeithio ar gyfraddau trydarthu hefyd (e.e., Kaiser et al., 2015; Monteith, 1965, 1981); Yn eu tro, mae lleithder a phwysau anwedd yn swyddogaethau lleithder pridd ac amrediad tymheredd dyddiol hefyd (Allen et al., 1994). Mae trydarthu'n cael ei fodiweiddio gan gyflymder gwynt hefyd, sy'n symud aer llaith oddi wrth ddail y cnwd ac yn ei ddisodli gydag aer newydd (e.e., Allen et al., 1994). Yn y pen draw, y ffynhonnell egni ar gyfer ffotosynthesis planhigion, ac felly tyfiant, yw dwyster ymbelydredd solar digwyddol, felly mae golau amgylchynol a chymylau yn rheolaethau pwysig hefyd (Allen et al., 1994; Monteith, 1965, 1981).

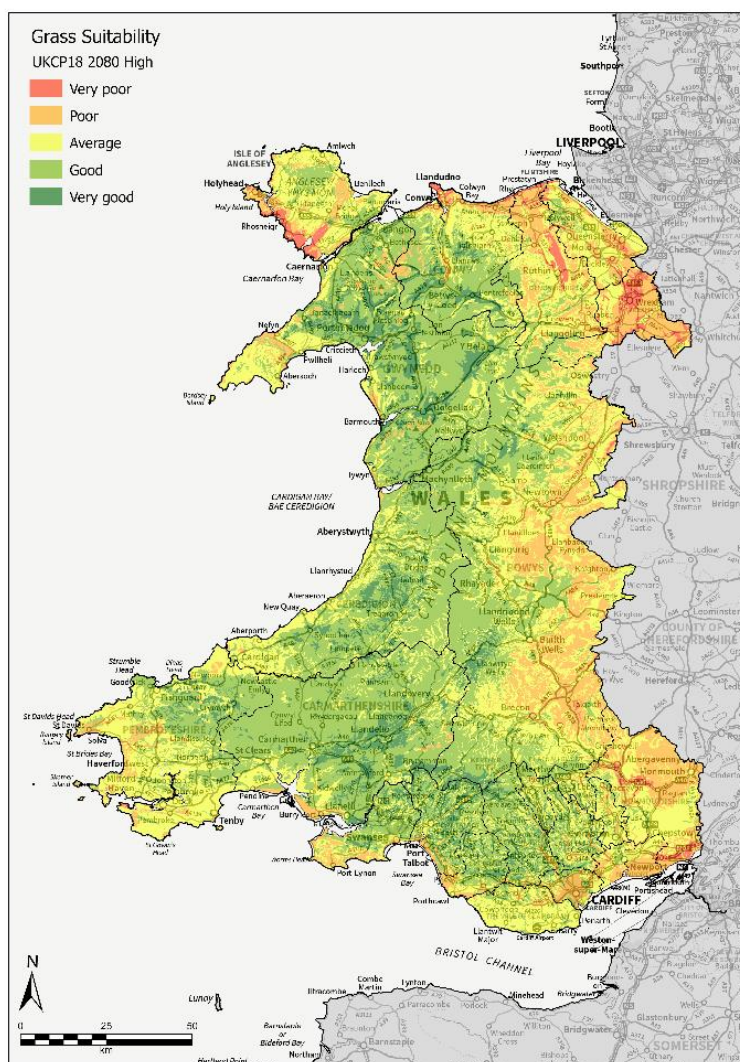
Mae newidynnau heblaw tywydd yn bwysig ar gyfer tyfiant hefyd. Mae amodau'r pridd - e.e. athreiddedd, mandylledd, dyfnder - yn rheolaethau ychwanegol pwysig ar leithder pridd. Mae maethynnau sydd ar gael yn y pridd yn gwneud cyfraniad pwysig hefyd (e.e., Dellar et al., 2018). Fodd bynnag, mae lefelau CO₂ eu hunain yn rheoli cyfraddau tyfiant hefyd. Mae crynodiadau CO₂ yn effeithio ar lwybrau biocemegol ffotosynthesis, a hefyd felly gyfraddau tyfiant cynydu (e.e., Kaiser et al., 2015; Rodriguez et al., 1999). Yn aml, disgrifir yr effaith hon

fel “ffrwythloni CO₂”, er ei bod yn well meddwl amdani fel dull o wella effeithlonrwydd tyfiant planhigion o ystyried y golau, dŵr a maethynnau sydd ar gael, yn hytrach na ffrwythloni o safbwynt maethynnau (Christy et al., 2018).

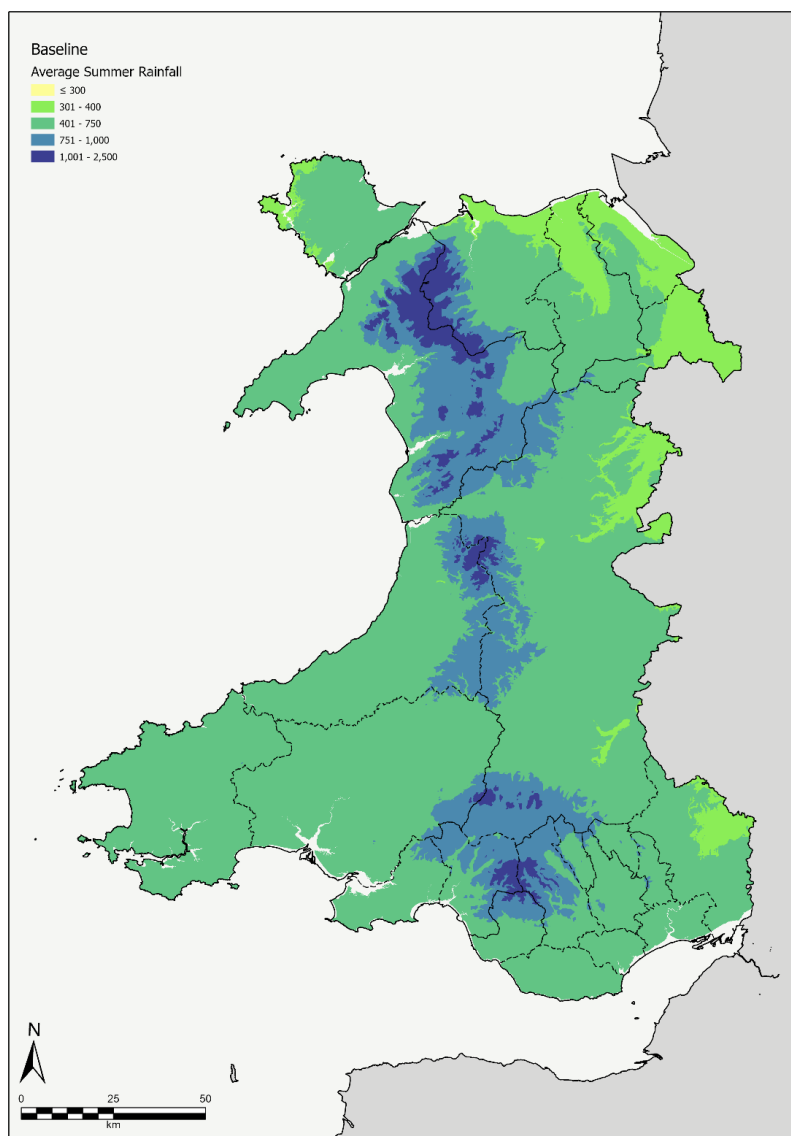
Mae dosraniadau is-setiau o'r paramedrau allweddol hyn o amgylch y DU yn galluogi creu cynlluniau dosbarthu ar gyfer addasrwydd tir ar gyfer datblygu cnydau glaswellt. Er enghraifft, mae canllawiau a gyflwynir yn Nutrient Management Guide AHDB (RB209) (AHDB, 2021), ac sy'n deillio yn y pen draw o waith Thomas a Young (1990) a Doyle et al. (1986), yn cael eu defnyddio mewn adroddiad ar wahân gan ADAS i Lywodraeth Cymru o dan y prosiect hwn i ddangos dosbarthiadau addasrwydd ar gyfer tyfiant glaswellt ledled Cymru nawr ac yn y dyfodol (Hockridge et al., 2020) (Ffigur Ffigur 1.1, Ffigur 1.2). Mae'r dull hwn yn blaenoriaethu lleithder pridd yn benodol fel y paramedr allweddol sy'n rheoli tyfiant, ac felly mae'n seiliedig ar lawiad yr haf (Ffigur Ffigur 1.3) a dosbarthiadau math o bridd (Ffigur 1.4). Mae'n rhagweld gostyngiadau eang, er nad unfurf, mewn categorïau addasrwydd ledled Cymru erbyn 2080, gyda maint y newid yn dibynnu ar y llwybr RCP a ddewisir (Ffigur Ffigur 1.1, Ffigur 1.2).



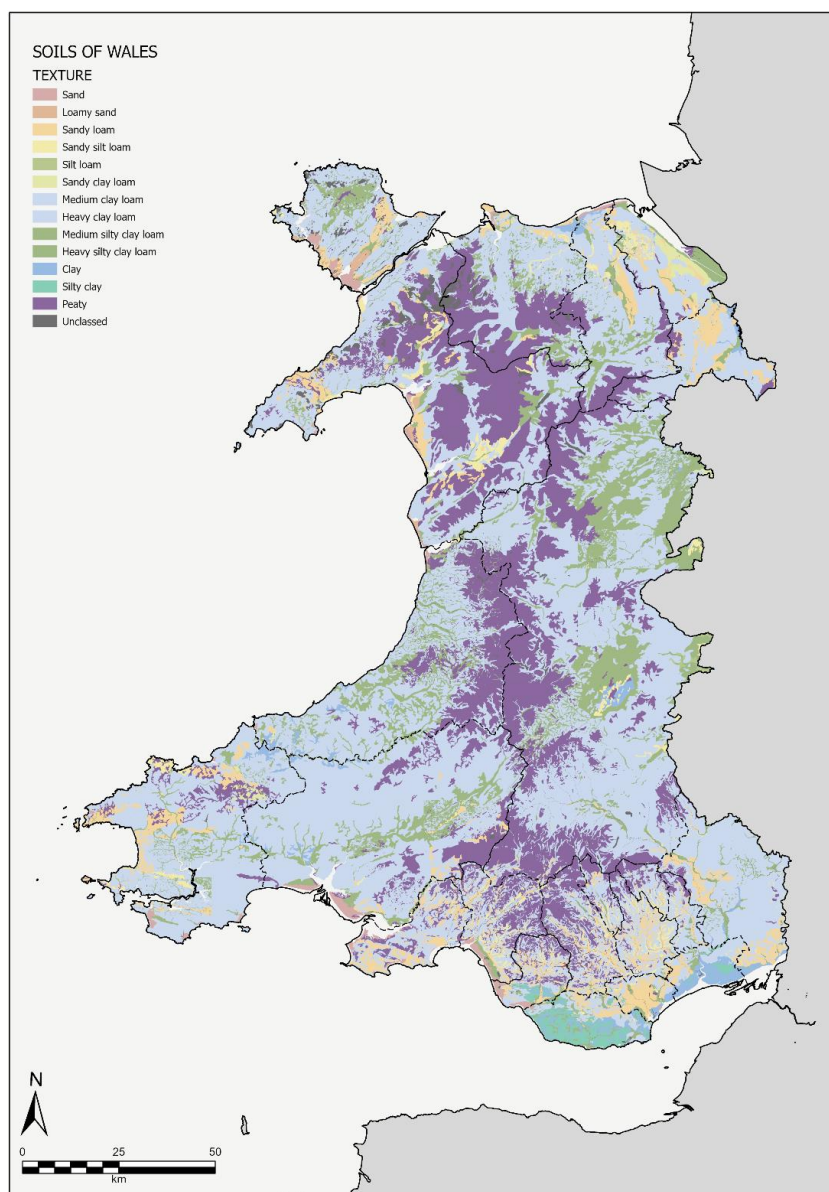
Ffigur 1.1: Dosbarthiadau tyfiant glaswellt (gwael iawn, gwael, cyfartalog, da, da iawn) ar gyfer Cymru o dan senario llinell sylfaen, a gymerwyd o Hockridge et al. (2020).



Ffigur 1.2: Dosbarthiadau tyfiant glaswellt yn 2080 o dan senarios hinsawdd allyriadau uchel UKCP18, a gymerwyd o Hockridge et al. (2020).



Ffigur 1.3: Cyfansymiau glawiad yr haf (Ebrill-Medi) ar gyfer Cymru o dan senario llinell sylfaen, a gymerwyd o Hockridge et al. (2020). Daw'r data o HadUK-Grid gyda llinell sylfaen 1961-1990.



Ffigur 1.4: Gweadau pridd yng Nghymru, a gymerwyd o Hockridge et al. (2020). Mae'r data sylfaenol yn dod o fap pridd cenedlaethol LandIS1 Cranfield o Gymru.

Mae pob dosbarthiad wedi'i gysylltu'n flaenorol â maint cnwd deunydd sych blynyddol tebygol nodweddiadol (Brockman, 1995). Mae maint y cnydau hyn yn amrywio yn ôl cyfraddau ffrwythloni nitrogen a ddefnyddir.

Tabl 1.1: Maint cnwd deunydd sych glaswellt tebygol (t/ha) ar ystod o gyfraddau N gwrrtaith, o dan wahanol ddsbarthiadau tyfiant. Dangosir y cyfraddau N uchaf a argymhellir i'w defnyddio hefyd. Mae'r amcangyfrifon ar gyfer canol y 1980au. Cymerwyd o Brockman et al. (1995).

| Site class | Fertiliser N application rate (kg/ha) | | | | | | | | | | Maximum to apply (kg/ha) |
|------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|--------|--------|---------|---------|--------------------------|
| | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | |
| Very good | 3.2 | 4.7 | 6.1 | 7.5 | 8.9 | 10.0 | 10.9 | 11.6 | 12.2 | 12.7 at | 450 |
| Good | 2.8 | 4.2 | 5.6 | 7.0 | 8.3 | 9.4 | 10.3 | 11.0 | 11.5 | 11.6 at | 410 |
| Average | 2.4 | 3.8 | 5.1 | 6.4 | 7.7 | 8.7 | 9.6 | 10.3 | 10.5 at | | 370 |
| Poor | 2.0 | 3.3 | 4.6 | 5.9 | 7.2 | 8.2 | 9.1 | 9.5 at | | | 330 |
| Very poor | 1.6 | 2.9 | 4.2 | 5.4 | 6.6 | 7.7 | 8.4 at | | | | 300 |

1.1 Nodau ac Amcanion y Prosiect

Nod y prosiect oedd defnyddio modelu rhifiadol o dyfiant glaswellt i ragamcanu newidiadau i gynhyrchiant porfeydd pori mewn safleoedd yng Nghymru, o dan ddylanwad hinsawdd sy'n newid yn y blynyddoedd hyd at 2080. Mae'r newidiadau hyn i'w mesur yn nhermau maint cnwd deunydd sych blynyddol swmp, amrywioldeb maint cnwd rhwng blynyddoedd a gwahaniaethau yn nhymoroldeb cynhaeaf. Arweiniodd astudiaethau presennol o faint cnwd o dan newid hinsawdd (e.e., Brereton et al., 1996; Chang et al., 2017; Dellar et al., 2018; Hess et al., 2020; Rodriguez et al., 1999; Semenov, 2009; Whiteley et al., 2018), gan gynnwys fel rhan o'r astudiaeth ehangach hon (cf., Hockridge et al., 2020), at y rhagdybiaethau canlynol:

- Bydd gostyngiadau tebygol yng nglawiad yr haf yng Nghymru yn gweithredu i atal tyfiant glaswellt;
- Bydd cynnydd tebygol yn nhymereddau'r tymor tyfu yn hyrwyddo tyfiant ar dymereddau is ond yn ei atal ar dymereddau uwch (e.e., Brereton et al., 1996; Romera et al., 2009);
- Bydd crynodiadau atmosfferig uwch o CO₂ yn gweithredu i wella tyfiant glaswellt (“ffrwythloni CO₂”)

Drwy'r efelychiad rhifiadol, mae'r astudiaeth hon wedi mesur rhyngweithiad y tri sbardun allweddol hyn ar wahanol adegau o'r flwyddyn, ac wedi deall eu heffaith net ar faint y cnwd.

Nid yw'r prosiect wedi mesur amrywioldeb maint y cnwd ar draws pob lleoliad posibl yng Nghymru, nac ar draws senarios hinsawdd lluosog. Yn hytrach, rhagwelwyd yr ymatebion mewn chwe safle dangosol ledled y wlad sy'n cwmpasu ystod o amodau amgylcheddol a hinsoddol posibl yn seiliedig ar ymatebion i newid hinsawdd o dan senario allyriadau hinsawdd RCP8.5 (“busnes fel arfer”). Roedd y canlyniadau'n seiliedig ar rygwellt lluosflwydd o dan drefn reoli sefydlog. Aseswyd amrywioldeb mewn maint cnwd ar safle ar draws amrywiadau hinsoddol o fewn ffenestri astudio 4 degawd, ac ar draws amcanestyniadau hinsawdd y dyfodol o amrywiaeth o wahanol fodolau hinsawdd.

Y tasgau penodol yn y prosiect oedd:

- Caffael cyfres amser o amcanestyniadau hinsawdd sy'n cwmpasu'r cyfnod astudio 1981-2080 mewn chwe safle fferm dangosol ledled Cymru. Nodwch a chywirwch ddau gyfnod

astudio ar gyfer pob un: 1981-2020 (llinell sylfaen bresennol) a 2041-80 (amcanestyniad ar gyfer y dyfodol).

- Defnyddiwch y Model Glaswellt ADAS wedi'i raddnodi (AGM) i ragweld maint y cnwd ym mhob ffenestr ar bob safle, ar draws saith cynhaeaf sefydlog sy'n efelychu pori drwy'r gwanwyn a'r haf, o dan bob model hinsawdd. Yn yr amcan hwn, *ni fydd* y model yn efelychu ffrwythloni CO₂ y glaswellt, felly bydd yn ynysu'r effeithiau ar dyfiant sy'n cael eu sbarduno gan yr hinsawdd.
- Defnyddiwch y model i ragfynegi newidiadau o dan yr un amodau, ond y tro hwn gyda ffrwythloni CO₂ o'r glaswellt. Cymharwch yr ymatebion ym mhob ffenestr â'r rhai yn absenoldeb ffrwythloni CO₂ i ynysu ei ddylanwad ar faint y cnwd a'i amrywioldeb.

2 METHODOLEG

2.1 Tasg 1. Caffael data, prosesu a chywirow rhagfarn.

Nod y dasg hon oedd (i) caffael data amcanestyniad hinsawdd sy'n angenrheidiol i redeg y model, (ii) prosesu'r data crai hwnnw i roi cyfres amser o ddata tywydd dyddiol ar bwynt mewn ffurf wedi'i graddnodi ar gyfer y model, a (iii) cywiro'r gyfres amser yn y cyfnodau o ddiddordeb. Mae cywiro rhagfarn yn sicrhau bod ystadegau allweddol yn y cyfresi amser hynny yn gyson â phatrymau tywydd go iawn (e.e., Fung, 2018).

2.1.1 Dewis safleoedd

Cafodd chwe safle eu dewis ledled Cymru i archwilio maint cnwd posibl rhygwellt. Dewiswyd safleoedd ar y sail ganlynol:

- Y safle'n cael ei ddefnyddio ar gyfer amaethyddiaeth ar hyn o bryd;
- Amrywiaeth o faint cnydau;
- Amrywiaeth o faint cnydau yn y dyfodol o dan amcanestyniadau presennol;
- Gwahanol fathau o bridd a chyfeintiau glawiad blynyddol cyfartalog;
- Cwmpas gofodol.

Er mwyn sefydlu amrywioldeb yn y dosbarthiadau hyn, mapiwyd canllawiau (AHDB, 2021; Thomas a Young, 1990) cynhyrchiant tyfiant glaswellt yr AHDB Nutrient Management Guide (RB209) fel y'u cyflwynwyd yn yr adroddiad sy'n cyd-fynd â'r prosiect hwn, "Grass Growth Classes" (Hockridge et al., 2020). Mae'r mapio hwn (Ffigur 1.1, Ffigur 1.2, Ffigur 1.3, Ffigur 1.4) yn dangos bod ffracsiwn mawr o Gymru yn perthyn i'r braced "da" yn y llinell sylfaen a'r amcanestyniad ar gyfer y dyfodol; mae hyn yn adlewyrchu glawiad uchel yr haf a dosbarthiad eang priddoedd â chapasiti dŵr canolig i uchel sydd ar gael ar dir uchder canolig neu isel. Mae rhai ardaloedd, yn bennaf i'r dwyrain, yn perthyn i gategorïau glawiad canolig yr haf. Mae'r rhain yn tueddu i fapio o fewn y categorïau tyfiant glaswellt gwael neu wael iawn.

Dewiswyd safleoedd yn seiliedig ar y mapiau hyn i gwmpasu amrywioldeb mewn amodau tyfu glaswellt gymaint â phosibl. O ystyried maint yr amodau tyfu da, dewiswyd tri safle yn y categori tyfiant glaswellt Da ar hyn o bryd ar gyfer yr ymarfer modelu yn ogystal ag un yr un yn y dosbarthiadau da iawn, cyfartalog a gwael.

Mae'r chwe safle a ddewiswyd yn cael eu disgrifio yn Tabl 2.1 a'u mapio yn Ffigur 2.1.

Tabl 2.1: Safleoedd astudio ar gyfer y prosiect. Mae'r dosbarthiadau'n deillio o fapio yn Hockridge et al. (2020). Mae cynnwys dŵr pridd sydd ar gael i blanhigion a chymarebau dŵr pridd sydd ar gael yn rhwydd yn deillio o'r math o bridd, yn seiliedig ar werthoedd safonol o Ddosbarthiad Tir Amaethyddol MAFF yng Nghymru a Lloegr.

| Site | Current productivity class | Projected productivity 2080 | Soil type | Modern rainfall | Inferred plant-available soil water content (AWC) (mm) | Inferred soil water easily available ratio | Elevation (m) |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|--|--|---------------|
| Trelech | Good | Good | Clay loam | High | 150 | 0.620 | 196 |
| Vale of Glamorgan | Good | Average | Silty clay | High | 141 | 0.552 | 59 |
| Builth Wells | Good | Poor | Clay loam | High | 150 | 0.620 | 232 |
| AngleseyAvg | Average | Poor | Sandy loam | High | 147 | 0.674 | 102 |
| Wrexham | Poor | Very poor | Sandy loam | Mid | 147 | 0.674 | 78 |
| AngleseyVG | Very good | Good | Silty clay loam | High | 141 | 0.552 | 55 |



Ffigur 2.1: Dosbarthiad lleoliadau safleoedd o amgylch Cymru. Dangosir ffin y map o dan gytundeb defnydd data ONS, OS OpenData.

2.1.2 Dewis a phrosesu data

Ar gyfer pob safle, roedd angen cyfres amser ddyddiol o ddata tywydd i sbarduno'r model tyfiant glaswellt. Roedd rhaid i'r data fod ar gael mewn ffurf gyson a pharhaus drwy gydol y ddwy ffenestr astudio a ddewiswyd (1981-2020; 2041-2080).

Data mewnbwn enghreifftiol: Ensemble model hinsawdd UKCP18

Drwy'r ffenestri llinell sylfaen (1981-2020) a rhagfynegiad ar gyfer y dyfodol (2041-2080), sbardunwyd y model gyda gwireddiadau tywydd synthetig sydd ar gael o brosiect modelu hinsawdd UKCP18 (Met Office Hadley Centre, 2018a). Noder na ddefnyddiwyd arsylwadau uniongyrchol ar gyfer y cyfnod llinell sylfaen fel mewnbwn uniongyrchol i'r model oherwydd y canlynol:

- Mae angen cysondeb a chymaroldeb ar ffurf y data yn y ddwy ffenestr;
- Mae data grid a ddatrysir yn ofodol sy'n seiliedig ar arsylwadau uniongyrchol ond ar gael fel cyfartaleddau misol ar gyfer rhywfaint o'r data mewnbwn allweddol;

- Defnyddiwyd amrywiaeth mewn allbynnau modelu fel dirprwy ar gyfer amrywioldeb mewn tywydd posibl (gweler isod). Ni fyddai hyn yn bosibl gyda dim ond y gyfres amser tywydd a arsylwir yn uniongyrchol.

Roedd y data a fodelwyd yn rhan o set amcanestyniad hinsawdd tebygoliaethol cenedlaethol UKCP18 (Met Office Hadley Centre, 2018a). Defnyddiwyd yr amcanestyniadau rhanbarthol ar gyfer y DU ar grid 12km, 1980-2080 (Met Office Hadley Centre, 2018b), a oedd yn cynnwys gwybodaeth am y sector cyhoeddus a drwyddedwyd o dan Drwydded Llywodraeth Agored v3.0. Mae'r set ddata hon yn darparu 12 amcanestyniad ar raddfa lai na'r model HadREM3-GA705, sy'n defnyddio model cypledig byd-eang Canolfan Hadley 60km (GCM) HadGEM3-GC3.05. Mae'r 12 amcanestyniad gwahanol yn cynrychioli cyfluniadau posibl y Model Unedig yn y GCM hwnnw, wedi'i ail-gridio ar Grid Cenedlaethol Prydain yr Arolwg Ordnans. Yn y bôn, mae pob un o'r 12 amcanestyniad hyn yn darparu un gwirediad posibl cydlynol o dywydd bob dydd dros gyfnod y model a ddefnyddir (1980-2080), o dan ragdybiaethau modelu ychydig yn wahanol. Defnyddiodd yr holl wireddiadau yn y set ddata senario allyriadau uchel RCP8.5 "busnes-fel arfer," felly maent yn cynrychioli canlyniadau hinsawdd cymharol besimistaidd.

O'r data allbwn a ddarperir o'r rhagamcanion rhanbarthol, dewiswyd newidynnau model wedi'u gridio'n dyddiol a oedd naill ai'n ofynnol yn uniongyrchol gan Fodel Glaswellt ADAS i redeg, neu a oedd eu hangen i gael y newidynnau hynny. Y newidynnau allbwn enghreifftiol hyn oedd:

- Tymheredd dyddiol uchaf yr aer, gradd C, "*tasmax*"
- Tymheredd dyddiol isaf yr aer, gradd C, "*tasmin*"
- Tymheredd cymedrig dyddiol yr aer, gradd C, "*tas*"
- Cyfradd dyodiad, mm/dydd, "*pr*"
- Fflwcs ymbelydredd tonnau byr arwyneb net, Wm-2, "*rss*"
- Cyflymder gwynt ar 10 m uwchben yr wyneb, ms-1, "*sfcWind*"

O'r data dyddiol hwn wedi'i gridio, tynnwyd chwe chyfres ddyddiol ym mhob un o ardaloedd safle'r astudiaeth gan ddefnyddio algorithm cymydog agosaf.

Cywiro rhagfarn: Data a arsylwyd wedi'i gridio HadUK-Grid

Defnyddiwyd y data amcanestyniad hinsawdd fel sail ar gyfer sbarduno Model Glaswellt ADAS. Fodd bynnag, anaml iawn y mae'r allbwn o efelychiadau o'r fath yn atgynhyrchu'r patrymau a'r ystadegau y gwyddys eu bod yn bresennol mewn data tywydd go iawn (e.e. cymedrau cywir, siapiau dosbarthu cywir). Am y rheswm hwn, mae *cywiro rhagfarn* yn cael ei wneud yn aml ar allbynnau model hinsawdd sydd i'w defnyddio ar gyfer astudiaethau effaith fel y prosiect hwn (e.e., Gohar et al., 2017; Hawkins et al., 2013b; Piani et al., 2010; Switanek et al., 2017), ac fe'i hargymhellir ar gyfer defnyddio data UKCP18 (Fung, 2018). Mae cywiro rhagfarn yn cymharu allbynnau model hinsawdd mewn lleoliadau hysbys ag arsylwadau yn y lleoliadau hynny, yna'n graddio'r allbwn enghreifftiol hwnnw fel bod ystadegau dethol yn cyd-fynd â'r rhai a arsylwyd. Hefyd, gall cywiro rhagfarn leihau gwallau a gyflwynwyd drwy ddefnyddio modelau ar raddfa lai (gan gynnwys o ddata grid i ddata pwnt; Fung, 2018). Mae mwy nag un dull i gael, gyda phob un yn ceisio paru gwahanol setiau o ystadegau, o wahanol gymhlethdod, ac yn briodol i ddsbarthiadau ystadegol ac achosion defnydd gwahanol. Ar ôl ei raddnodi ar gyfer achos defnydd ac ar gyfer newidyn penodol mewn cyfres amser a arsylwyd, gellir graddio rhagfynegiadau'r model o'r newid yn yr hinsawdd yn y dyfodol yn yr un modd.

Cymhwyswyd cywiro rhagfarn mapio dosbarthiad wedi'i raddio (SDM) i bob set ddata (Switanek et al., 2017). Mae SDM yn dechneg a all gyfrif am ddiffyg sefydlogrwydd mewn gwerthoedd cywiro gwallau, yn wahanol i lawer o ddulliau cywiro rhagfarn eraill. Pan gaiff ei gymhwyso i ddata glawiad neu bamedrau eraill sy'n brasamcanu dosbarthiad gama, mae'n cyfrif yn benodol am nifer y diwrnodau o law a'r tebygolrwydd o ddigwyddiadau unigol. Fodd bynnag, gellir ei gymhwyso'n llwyddiannus hefyd i'r holl newidynnau hinsawdd a ystyriwyd yn yr astudiaeth hon drwy nodi bod y data'n cael ei ddsbarthu'n normal. I ddefnyddio'r cywiriad SDM, defnyddiwyd pecyn Python *bias_correction* v.0.2. Datblygwyd y feddalwedd hon gan Pankaj Kumar a chafodd ei rhyddhau o dan drwydded feddalwedd MIT.¹

Cafodd y data enghreifftiol ei gywiro yn erbyn arsylwadau hinsawdd cyfartalog wedi'u gridio HadUK-Grid ar gyfer y DU (Hollis et al., 2019; Met Office et al., 2018). Mae HadUK-Grid yn gynnyrch data wedi'i gridio 1km x 1km sy'n deillio o rwydwaith o arsylwadau arwyneb tir y DU; yn y prosiect hwn, defnyddiwyd data sy'n deillio o'r fersiwn o'r set ddata wedi'i huwchraddio i 12km x 12km yn benodol i'w chymharu ag allbynnau UKCP18. (Met Office et al., 2020) O ran data UKCP18, defnyddiwyd algorithm cymydog agosaf i gael cyfres amser ar gyfer pob un o'r safleoedd astudio, ar gyfer yr un set o newidynnau hinsawdd.

Yn wahanol i'r data a fodelwyd gan UKCP18, dim ond ar gyfer data *pr* (glawiad), *tasmin* (tymheredd isaf), a *tamax* (tymheredd uchaf) HadUK-Grid yr oedd data cydraniad dyddiol ar gael. Roedd y paramedrau sy'n weddill ond ar gael ar gydraniad misol. Lle mai dim ond data misol oedd ar gael, defnyddiwyd cywiro rhagfarn ar y raddfa hon, er ei bod yn bosibl gweithio gyda'r data dyddiol unwaith y byddai'r set ddata amcanestyniad hinsawdd yn ei chyfanrwydd wedi'i graddio gan ddefnyddio'r cyfartaleddau misol.

Nid yw'r set ddata HadUK-Grid yn darparu data ar gyfer fflwcs ymbelydredd tonnau byr arwyneb net (*rss*). Yn hytrach, er mwyn cywiro rhagfarn y data model hinsawdd, cafwyd cyfres amser ar gyfer *rss* gan ddefnyddio: (i) y data ar gyfer oriau haul misol o set ddata HadUK-Grid (*haul*); (ii) amcangyfrif o gyfanswm y digwyddiadau ymbelydredd allfydol ar y Ddaear am flwyddyn a lledred penodol; a (iii) amcangyfrif o hyd y dydd yn seiliedig ar ledred, hydred ac uchder y safle. Gwnaethom amcangyfrif cyfanswm ymbelydredd allfydol yn dilyn Duffie a Beckman (1980) a Craig (1984), fel y'i cyflwynwyd gan Allen et al. (1994):

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} G_{sc} d_r (\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s) \quad (2.1)$$

Lle mai R_a yw'r cyfanswm ymbelydredd allfydol ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$), G_{sc} yw'r cysonyn solar ($0.0820 \text{ MJ m}^{-2}\text{min}^{-1}$), d_r yw pellter cymharol y Ddaear-yr Haul, d yw'r gogwyddiad solar (rad), f yw'r lledred (rad), ac ω_s yw ongl awr y machlud, a

¹ https://github.com/pankajkarman/bias_correction

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (2.2)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (2.3)$$

Ile mai J yw diwrnod Silian. Rydym yn amcangyfrif swm hyd y dydd ar gyfer pob diwrnod mewn mis, n_{mon} , gyda'r pecyn Python *astral* v.2.2. Datblygwyd y feddalwedd hon gan Simon Kennedy a chafodd ei rhyddhau o dan drwydded feddalwedd Apache 2.0.² Gyda'r paramedrau hyn, cyfrifwyd ymbelydredd digwyddiad tonnau byr net a dderbyniwyd gan ganopi'r cnwd, cyfrifwyd R_{ns} , yn dilyn Allen et al. (1994) fel:

$$R_{ns} = (1 - A) \left(0.25 + 0.50 \frac{n_{sun}}{n_{mon}}\right) R_a \quad (2.4)$$

Ile mai A yw albedo'r cnwd (gan gymryd y gwerth cyfeirio ar gyfer glaswellt, 0.23), a n_{sun} yw cyfanswm yr oriau o haul llachar bob mis, a gymerir fel y newidyn *haul* yn set ddata HadUK-Grid.

Ailgyfrifo a phadio newidynnau

Yn y rhan fwyaf o achosion, roedd y newidynnau a ddarparwyd o efelychiadau hinsawdd UKCP18 yn briodol i sbarduno'r Model Glaswellt ADAS yn uniongyrchol, ar ôl rhywfaint o drawsnewid unedau. Fodd bynnag, nid oedd hyn yn wir am y paramedr cyflymder gwynt, U , sydd, yn y model glaswellt, wedi'i raddnodi fel 2 fetr uwchben lefel y ddaear, ond yn yr allbwn UKCP18, fe'i disgrifir fel 10 m uwchben lefel y ddaear. Gwnaethom gyflawni'r cywiriad angenrheidiol yn dilyn Allen et al. (1989) fel y dangosir yn Allen et al. (1994):

$$U_2 = U_{10} \frac{4.87}{\ln(67.8z_m - 5.42)} \quad (2.5)$$

Ile mai U_2 yw'r cyflymder gwynt cymedrig ar uchder o 2 m, U_{10} yw'r mesuriad cyflymder gwynt cymedrig ar uchder o 10 m, a'r uchder arsylwi, $z_m = 10$ m. Mae'r dull hwn yn tybio cnwd cyfeirio safonol gydag uchder o 0.12 m, a pharamedr garwedd ar gyfer momentwm dros y cnwd o 0.015.

Mae efelychiadau hinsawdd UKCP18 yn tybio bod blwyddyn yn cynnwys 12 mis o 30 diwrnod. Fodd bynnag, mae Model Glaswellt ADAS yn gofyn am newidynnau tywydd safonol a arsylwyd ar gyfer pob diwrnod mewn blwyddyn, felly mae'n disgwyl blynyddoedd 365 diwrnod (neu 366 mewn blwyddyn naid). Er mwyn creu blynyddoedd "normal," gwnaethom addasu cyfres amser allbwn UKCP18 drwy ychwanegu diwrnodau ychwanegol i'r drefn 360 diwrnod ar ddiwedd mis Ionawr, mis Gorffennaf, mis Awst, mis Hydref a mis Rhagfyr, gan

² <https://github.com/sffjunkie/astral>

ychwanegu hefyd at ddiwedd mis Mai yn achos blwyddyn naid. Roedd y diwrnodau hyn yr un fath â'r diwrnodau blaenorol.

2.2 Tasgau 2 a 3. Modelu maint cnwd glaswellt gyda Model Glaswellt ADAS.

2.2.1 Model Glaswellt ADAS

Defnyddiodd y prosiect hwn Fodel Glaswellt ADAS (Whiteley et al., 2018) i efelychu datblygiad cnwd rhygwellt a maint cnwd cynhaeaf deunydd sych ar gyfer pob safle. Mae amrywiaeth o fodolau eraill ar gael sy'n efelychu tyfiant cnwd glaswellt o dan amodau hinsawdd gosodedig hefyd (e.e., Chang et al., 2017; Hawkins et al., 2013a; Rodriguez et al., 1999; Romera et al., 2010; Schapendonk et al., 1998; Watson et al., 2015); fodd bynnag, dewiswyd model ADAS ar gyfer y prosiect hwn gan iddo gael ei ddatblygu'n benodol i efelychu amodau'r DU, a hefyd gan y gall gael, ac mae wedi cael ei raddnodi'n llwyddiannus ar gyfer safleoedd lleol penodol lle mae data cynhaeaf ar gael (gweler isod).

Mae Model Glaswellt ADAS (AGM) yn seiliedig ar fodel glaswellt PGSUS Romera et al. (2010), wedi'i addasu ar gyfer amodau'r DU (cynlluniwyd y model PGSUS yn wreiddiol i efelychu tyfiant porfa rhygwellt yn Seland Newydd). Mae AGM yn cael ei weithredu yn Excel gyda rhwymadau VBA ar gyfer mewnbynnu ac allbynnu data swmp yn awtomataidd. Disgrifir yr hafaliadau enghreifftiol yn llawn mewn mynegai yn nhaenlen y model, ond disgrifir ymarferoldeb allweddol a gwahaniaethau o PGSUS yn fyr isod.

Wrth wraidd y ddau fodel mae cydbwysedd màs rhwng tyfiant gwyrdd newydd a ychwanegir at y gronfa biomas, a gwaredu biomas gwyrdd drwy heneiddedd porfa a chynaeafu. Fodd bynnag, mae'r AGM yn gweithredu olrhain penodol y cronfeydd (yn dilyn model a ragflaenodd PGSUS; McCall a Bishop-Hurley, 2003) biomas gwyrdd a heneiddedd, tra bod PGSUS ond yn olrhain y gronfa biomas gwyrdd. Mae tyfiant yn y ddau fodel yn swyddogaeth ymbelydredd solar digwyddiad, term effeithlonrwydd sy'n disgrifio cyfraddau ffotosynthesis fesul uned ymbelydredd solar, tymor rhyng-gipio golau canopi gwyrdd, ffactor atal sy'n gysylltiedig â straen dŵr yn y pridd, paramedr resbiradaeth cynnal y mae'n rhaid ei gyflenwi cyn y gall tyfiant fynd yn ei flaen, a ffactor twf tymheredd sy'n atal twf yn rhannol neu'n llawn dros ystodau tymheredd penodol. Mae AGM yn mabwysiadu swyddogaeth sy'n disgrifio newid yn y ffactor tyfiant gyda thymheredd sy'n dilyn fersiwn wedi'i hail-raddnodi o'r berthynas a roddwyd gan Brereton et al. (1996) yn hytrach na'r hyn a fabwysiadwyd gan Romera et al. (2010), ar y sail bod graddnodiad Brereton yn fwy cymwys i gnydau ac amodau'r DU. Mae perthynas Brereton yn rhoi cynnydd arafach mewn cyfraddau tyfu ar dymheredd is ac yn atal tyfiant ar dymereddau uwch (>25 °C) yn gynharach, ond mae'r ddwy berthynas yr un siâp yn y bôn, gan ragweld dim tyfiant islaw 4 °C, uchafbwynt mewn tyfiant ar tua 20-25 °C, a chyfraddau tyfu sy'n gostwng uwchben y ffenestr honno. Nid yw unrhyw dyfiant yn bosibl yn yr AGM uwchlaw 40 °C. Mae hyn yn arwain at yr hafaliad tyfiant allweddol:

$$N = 10(\alpha I g_T g_W c(G) - r(G)) \quad (2.6)$$

Ile mai N yw'r tyfiant gwyrdd newydd (kg deunydd sych/dydd), α yw'r ffactor graddio ar gyfer cyfradd dyfu o dan ymbelydredd digwyddiad penodol, I yw'r ymbelydredd solar digwyddiad

(MJm-2d-1), g_T yw'r ffactor graddio ar gyfer effeithiau tymheredd, g_w yw'r ffactor graddio ar gyfer dŵr pridd, $c(G)$ yw'r ffactor graddio ar gyfer gallu rhyng-gipio golau canopi gwyrdd, ac $r(G)$ yw'r resbiradaeth cynnal dyddiol ($g\ DM\ m^{-2}\ d^{-1}$).

Yn dilyn PGSUS, mae'r AGM yn gweithredu model anwedd-drydarthiad sy'n paru cnwd, dŵr daear ac atmosffer. Mae'r cnwd yn defnyddio dŵr daear ac yn trosglwyddo'r lleithder hwnnw; mae cyflymder y ddwy broses yn dibynnu ar amodau lleithder y pridd a garwedd aerodynamig y cnwd yn y drefn honno. Mae lleithder pridd yn ymateb i gyfraddau anwedd-drydarthiad ac ailgyflenwi gan law, a gall ddirlenwi. Mae nodweddion pridd yn rheoli'n rhannol ddynameg dŵr y pridd, a gellir eu graddnodi (gweler isod). Roedd gwerthoedd nodweddion pridd cynrychiadol ar gyfer pob gwead a dosbarth pridd yn deillio o dablau (MAFF, 1988) a gyhoeddwyd (gweler Tabl 2.1 hefyd).

Mae'r model yn datgelu dau baramedr y gellir eu graddnodi, a a b , sy'n rheoli maint tyfiant cynydu ar gyfer amodau golau penodol (α):

$$\alpha = \frac{b}{1 - \exp(-aI)} \quad (2.7)$$

Yma, mae a yn adlewyrchu Tymoroldeb yn yr ymateb ac mae b yn rheoli maint absoliwt y tyfiant a gyflawnir (Whiteley et al., 2018). Mae'r paramedrau hyn yn ymgorffori effeithiau defnydd gwrtait h.y. mae cnwd sydd wedi'i ffrwythloni'n well yn derbyn gwerth b uwch. Yn y modd hwn, mae'n bosibl nodi'r gyfradd gwrtait nitrogen a weithgynhyrchir yn yr AGM.

Mae'r fersiwn hon o'r AGM yn gweithredu trefn ddewisol i efelychu ffrwythloni'r cnwd drwy grynodiadau atmosfferig CO₂ mewn ffordd syml. Mae gwaith presennol ar gynhyrchiant tir cynydu o dan hinsawdd sy'n esblygu yn dangos bod yr effaith hon yn bwysig o ran deall maint unrhyw newidiadau i gynaeafau (e.e., Chang et al., 2017; Dellar et al., 2018; Semenov, 2009), felly mae'n bwysig ystyried ei effaith yn yr astudiaeth hon. Nid yw'r addasiadau hyn yn bresennol yn PGSUS na'r fersiwn gynharach o'r AGM. Yn hytrach, mabwysiadwyd y dull a ddefnyddiwyd mewn fersiynau cyfredol o fodel (Rodriguez et al., 1999; Schapendonk et al., 1998; Wolf, 2006) porfa glaswellt LINGRA yn yr astudiaeth hon. Os caiff ei actifadu yn y model, mae cyfraddau tyfiant yn absenoldeb straenachoswyr eraill yn cynyddu'n logarithmig gyda chrynodiadau CO₂ cynyddol (Whiteley et al., 2018; Wolf, 2006), sy'n arwain at fersiwn wedi'i haddasu yn Hafaliad (2.6):

$$N = 10(\alpha I g_{CO_2} g_T g_w c(G) - r(G))$$

os yw gwrtait CO₂ yn weithredol: $g_{CO_2} = 1 + 0.8 \log\left(\frac{C_{CO_2}}{360}\right)$

fel arall: $g_{CO_2} = 1$

(2.8)

Ile mae g_{CO_2} yn ffactor graddio ar gyfer crynodiad CO₂ a C_{CO_2} yw crynodiad atmosfferig CO₂ (ppm). Mae'r gweithrediad hwn o sensitifrwydd CO₂ yn gymharol syml, a gellid ei wella'n sylweddol o bosibl i adlewyrchu mwy o fanylion am ffisioleg glaswellt (cf., Rodriguez et al., 1999). Noder yn benodol nad oes rhyngweithio rhwng ffrwythlondeb CO₂ â straen sychder na chyfyngiad N, dim ystyriaeth o ryngweithio â storfeydd ynni planhigion neu

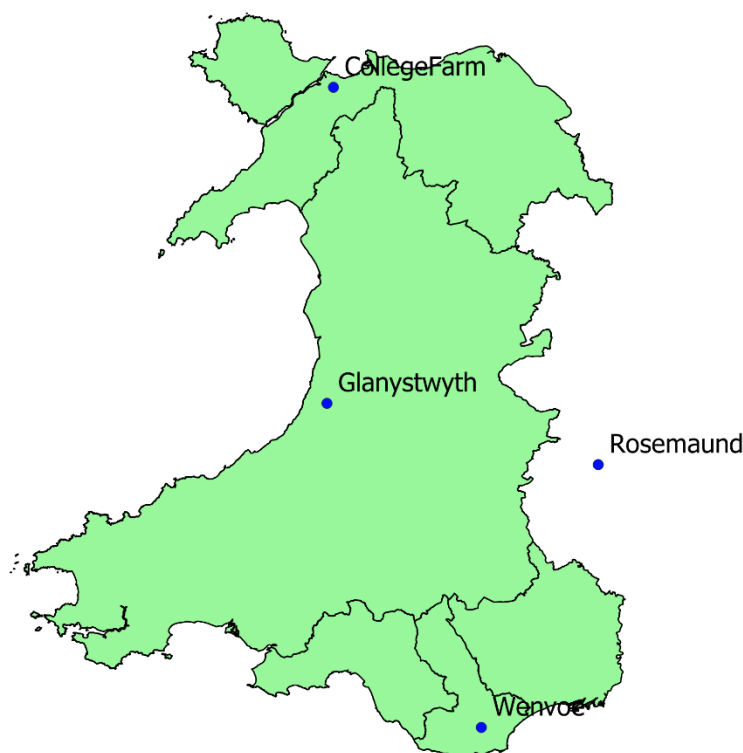
drawsnewidiadau i ac o dyfiant llystyfiant/blodeuo, a dim ystyriaeth o newidiadau cydnaws posibl mewn effeithlonrwydd defnydd dŵr planhigion wrth i'r hinsawdd newid (cf., Rodriguez et al., 1999). Ystyrir yr effeithiau hyn ymhellach yn y Drafodaeth (Adran 4).

2.2.2 Graddnodi'r model

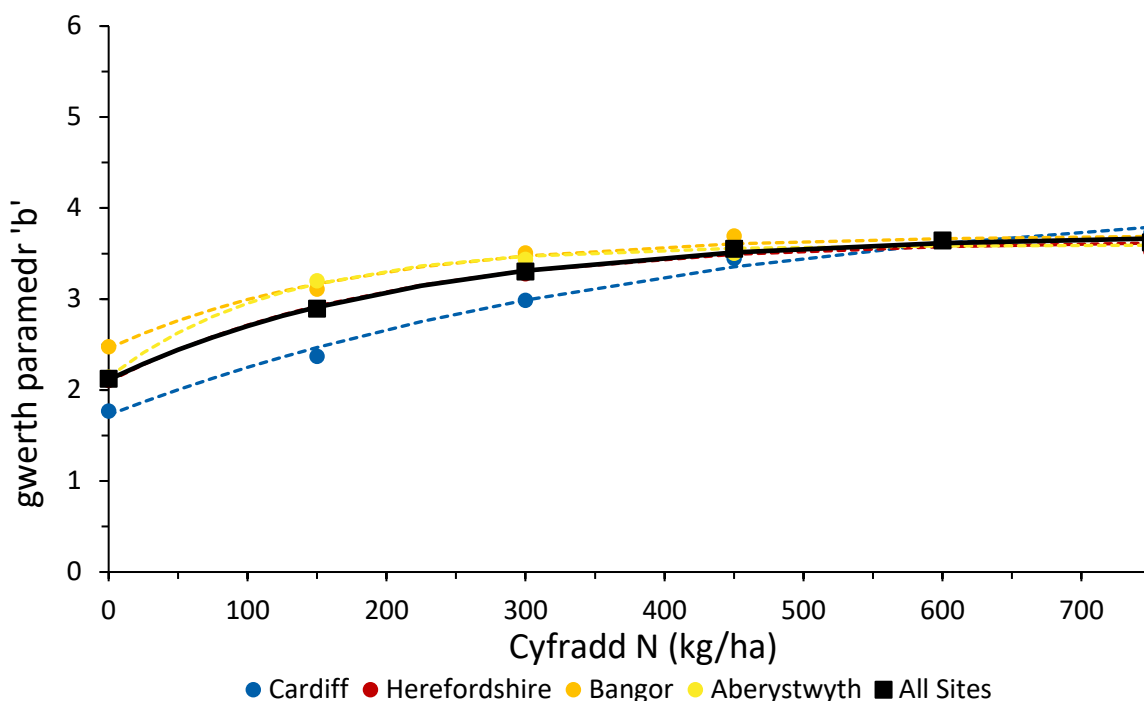
Cyfraddau twf a ffrwythloni

Roedd y defnydd gwreiddiol o'r AGM ar gyfer astudiaeth (Whiteley et al., 2018) a geisiodd atgynhyrchu cynhyrchiant glaswelltir ledled y DU mewn safleoedd a oedd yn rhan o'r treialon "GM 20" a gynhaliwyd gan ADAS a GRI yn y 1970au (Morrison et al., 1980). Roedd y treialon hyn yn canolbwyntio ar ddeall ymatebion cnwd glaswelltir o dan wahanol gyfundrefnau gwrtait nitrogen. O'r herwydd, mae'r AGM wedi'i raddnodi eisoes ar gyfer gwahanol safleoedd ledled y DU, ac mae'r ffordd mae'r defnydd o wrtaith N yn effeithio ar y paramedrau graddio cyfradd allweddol a a b yn cael ei deall yn dda. Cafodd y model ei raddnodi gan ddefnyddio paramedrau pridd hysbys ar bob safle.

Y graddio a fabwysiadwyd ar gyfer yr astudiaeth hon oedd cymedr y pedwar safle GM 20 a oedd naill ai yng Nghymru neu'n agos iawn at Gymru (Ffigur Ffigur 2.1, Ffigur 2.2). Mae gwerth a wedi'i bennu fel y cymedr cenedlaethol, yna mae gwerth b wedi'i raddnodi ar gyfer pob safle yn unigol gan ddefnyddio dull datrys anunionlin GRG yn Microsoft Excel Solver i leihau swm y sgwariau o wahaniaethau rhwng maint cnwd a arsylwyd ac a osodwyd (Whiteley et al., 2018).



Ffigur 2.2: Safleoedd prawf GM 20 a ddefnyddiwyd i raddnodi Model Glaswellt ADAS ar gyfer yr astudiaeth hon. Dangosir ffiniau o dan gytundeb ONS, OS OpenData.



Ffigur 2.3: Gwerthoedd graddnodi paramedr b ar gyfraddau ffrwythloni gwahanol ar gyfer pob safle, o dan werth cymedrig cenedlaethol gosodedig o a (= 0.2616). Y safleoedd yw Gwenvô (Caerdydd), Rosemaund (Swydd Henffordd), Fferm y Coleg (Bangor) a Glanystwyth (Aberystwyth).

2.2.3 Cyflunio'r model i ragfynegi maint cnwd

Mae'r cynaeafau o fewn y model wedi'u ffurfwedu fel pori efelychiadol. Efelychwyd saith digwyddiad cynhaeaf ar gyfer pob blwyddyn, gyda bwlch o bedair wythnos rhyngddynt, ac fe'u gwnaed ar 13/05, 10/06, 08/07, 05/08, 02/09, 30/09, a 28/10. Roedd pob toriad yn lleihau'r cyfanswm biomas yn ôl i 1200 kg/ha; os oedd llai o fomas na hyn yn bresennol, ni wnaed unrhyw doriad.

Dewiswyd gwerthoedd paramedrau cyfradd tyfiant a a b i ddynwared defnydd nitrogen o 150 kg N/ha/y (Ffigur 2.3). Mae'r swm hwn o ffrwythloni yn gyson â chanllawiau Brockman (1995) (gweler Tabl 1.1), a byddai disgwyl iddo gynhyrchu tua 10 t/ha o ddeunydd sych yn seiliedig ar ganllawiau RB209.

Cafodd y model graddnodi ei awtomeiddio i redeg ar gyfer pob un o'r chwe safle efelychu drwy'r 100 mlynedd o ddata gwireddu hinsawdd UKCP18 dyddiol, unwaith ar gyfer pob un o'r 12 cyfluniad model hinsawdd UKCP18 posibl. Ar gyfer pob efelychiad, tynnwyd y ddwy ffenestr o ddiddordeb, 1981-2020 (llynell sylfaen) a 2041-2080 (amcanestyniad). Mae pob blwyddyn yn cynnwys saith cynhaeaf unigol. Ar gyfer pob ffenestr amser a astudiwyd, modelwyd ymateb chwe safle, gan gynhyrchu efelychiadau 12 x 40 = 480 o ddilyniannau o saith cynhaeaf. Yna, roedd ystadegau ar gyfer y boblogaeth hon o efelychiadau ar gyfer pob

safle ar gyfer pob ffenestr. Fel y nodwyd yn flaenorol, roedd y dull hwn yn ceisio deall yr hinsawdd ar gyfartaledd ar draws pob ffenestr, ac yn defnyddio bob blwyddyn fel ffordd bosib wahanol o wireddu'r tywydd mewn hinsawdd gymharol gyson dros 40 mlynedd. Ar gyfer pob blwyddyn o ddata, roedd y model yn cael ei redeg ddwywaith yn olynol ar yr un data mewnbwn h.y. fel pe bai dwy flwyddyn yn union yr un fath wedi digwydd un ar ôl y llall, a chymerwyd y canlyniadau o'r ail flwyddyn. Mae'r dull hwn yn dileu arteffactau yn y canlyniadau sy'n gysylltiedig â'r amodau cychwynnol mympwyol a gyflenwir i'r model ar ddechrau rhediad pob model.

Gwnaethom ddefnyddio'r setiau hyn o 480 o efelychiadau i ddeall dosbarthiad maint cnwd deunydd sych a thymoroldeb y cynnyrch yn y cyfnodau llinell sylfaen ac yn y dyfodol, yn absenoldeb (Tasg 2) a phresenoldeb (Tasg 3) ffrwythloni CO₂ y cnwd.

3 CANLYNIADAU

3.1 Tasg 2. Cnwd heb unrhyw ffrwythloni CO₂.

3.1.1 Cyfanswm maint cnwd deunydd sych

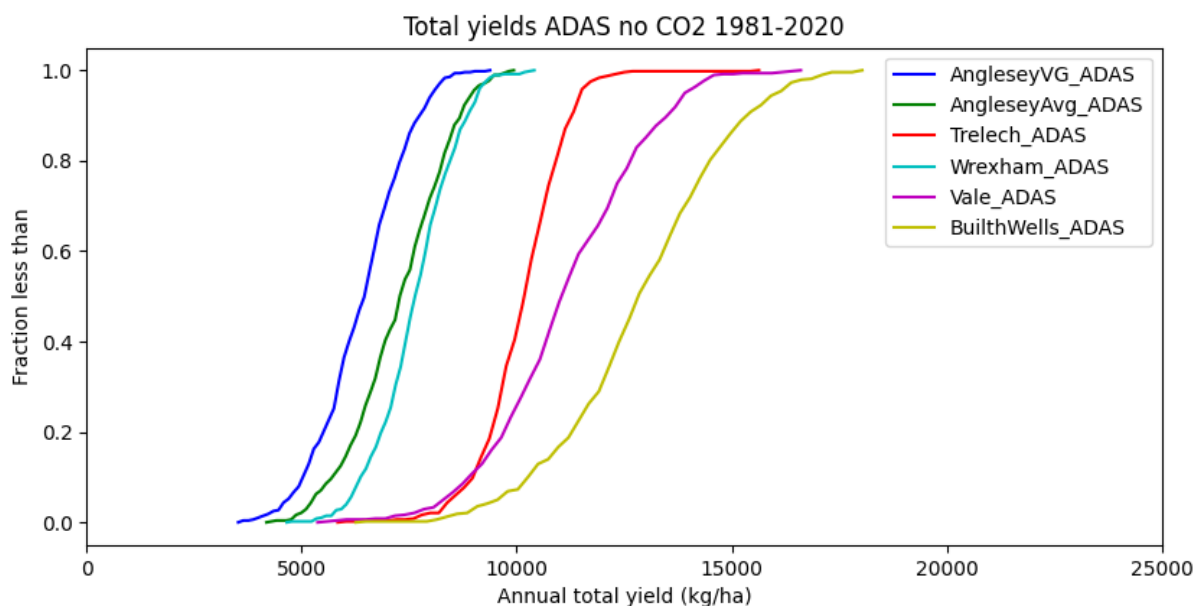
Cawsom faint cnwd deunydd sych blynyddol ar gyfer y chwe safle drwy gyfuno'r cyfanswm o bob un o'r saith cynhaeaf.

1981-2020

Roedd maint cnwd y chwe safle'n arddangos amrywiad modelu sylweddol ym maint y cnwd yn y ffenestr llinell sylfaen (Ffigur 3.1). Mae'r cnwd a fodelwyd yn debygol o fod y cynaeafau damcaniaethol mwyaf, gan nad yw'r model yn cipio ffactorau cyfyngol megis plâu neu glefydau, nac ymyriadau neu aflonyddwch arall i'r cnwd. Roedd cynaeafau canolrif a ragwelwyd yn amrywio o 6.5 i 12.8 t/ha (gweler Tabl 3.1 hefyd). Mae'r ystod hon o 6.3 t/ha yn debyg i gyfanswm yr amrywioldeb ym maint y cnwd a fodelwyd rhwng blynyddoedd yn yr ardaloedd mwyaf cynhyrchiol, Llanfair-ym-muallt a Bro Morgannwg.

Roedd yr amrywioldeb rhwng blynyddoedd rhwng safleoedd (h.y. gogwydd llinell y CDF) yn gymaradwy yn gyffredinol. Yr eithriad nodedig oedd y safle gwlypaf ac oeraf, Tryleg, lle'r oedd llai o amrywioldeb o amgylch y maint cnwd canolrif.

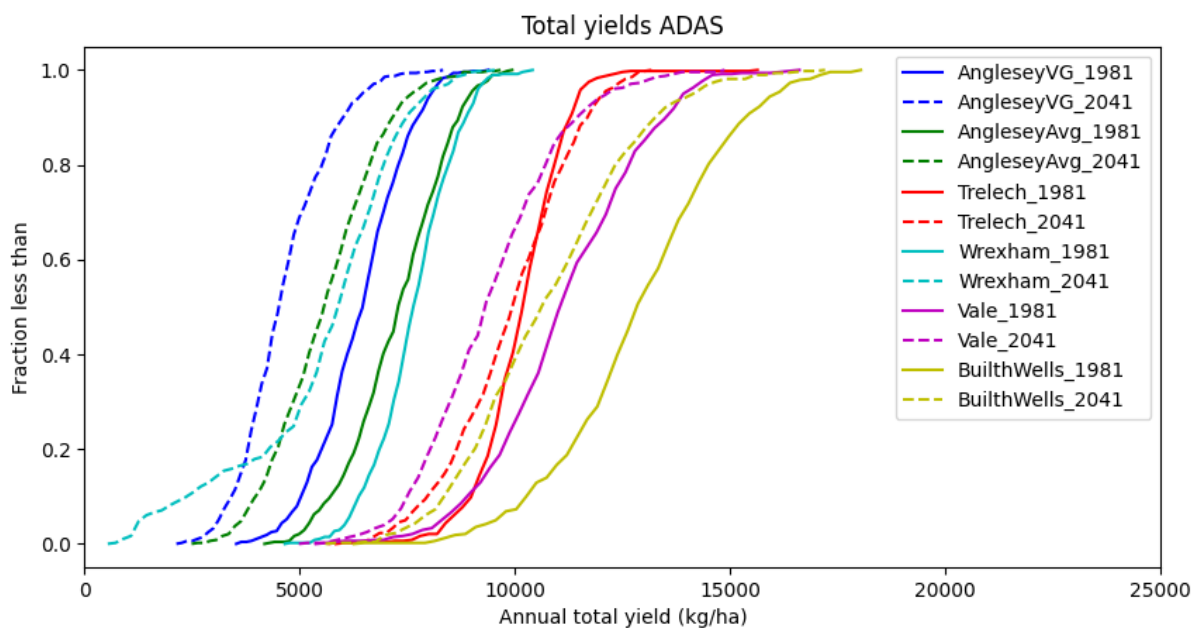
Weithiau roedd y maint cnwd deunydd sych canolrif yn uwch na'r rhai a awgrymwyd gan Brockman (1995) ar gyfer caeau wedi'u ffrwythloni yn yr un modd (Tabl 1.1), gan adlewyrchu gwahaniaethau rhwng y ddau ddull. Mae'r AGM yn modelu'r maint cnwd gorau posibl o dan amodau penodol, gan anwybyddu effeithiau plâu, clefydau a phroblemau lleol eraill gyda chynhyrchu. Hefyd, mae'r amcangyfrifon llinell sylfaen yn ymestyn i 2020, degawdau ar ôl y cyfnod ar ddechrau'r 1980au a ystyriwyd gan Brockman (1995), ac mae'r amcangyfrifon maint cnwd a gyflwynwyd gan Brockman yn geidwadol, gan gynrychioli'n gyffredin y 30ain ganradd o'r dosbarthiad, yn hytrach na'r maint cnwd deunydd sych canolrif (cf., Thomas a Young, 1990).



Ffigur 3.1: Dosbarthiad cyfanswm cnwd deunydd sych blynyddol efelychiadol mewn chwe safle astudio yn ffenestr llinell sylfaen 1981-2020, a gyflwynir fel swyddogaethau dosbarthu cronus. Mae dosraniadau'n cynnwys 40 blwyddyn unigol wedi'u cyfrifo ar draws 12 o amrywiadau model.

2041-2080

Roedd yr AGM heb ffrwythloni CO₂ yn rhagweld gostyngiad ym maint y cnwd canolrif ar gyfer pob un o'r chwe safle yn ffenestr 2041-2080 (Ffigur 3.2, Tabl 3.1) o gymharu â ffenestr 1981-2020. Roedd y gostyngiad yn amrywio rhwng safleoedd, yn amrywio o safleoedd bach (2%, yn Nhryleg) i rai sylweddol (30%, ar un o safleoedd Ynys Môn). Yn gyffredinol, y patrwm oedd newid systematig am i lawr yn y dosbarthiadau maint cnwd; fodd bynnag, bu cynnydd bach yn yr amrywioldeb ym mhob un o'r safleoedd (h.y. mae'r graddiannau ar y graffiau ychydig yn is). Roedd hyn yn fwyaf amlwg yn safleoedd Tryleg a Wrecsam. Yn Nhryleg, roedd y cynnydd mewn amrywioldeb yn golygu, er bod y maint cnwd canolrif wedi gostwng ychydig, fod maint y cnwd wedi cynyddu mewn tua 30% o'r efelychiadau. Yn Wrecsam, mae'r cynnydd mewn amrywioldeb yn fwyaf amlwg yn y gostyngiad amlwg ym maint y cnwd mewn tua 20% o'r efelychiadau.



Ffigur 3.2: Dosbarthiad cyfanswm cnwd deunydd sych blynyddol efelychiadol mewn chwe safle astudio yn ffenestri llinell sylfaen 1981-2020 (llinellau solet) ac amcanestyniad 2041-2080 (llinellau toredig), a gyflwynir fel swyddogaethau dosbarthu cronnos. Mae dosraniadau'n cynnwys 40 blwyddyn unigol wedi'u cyfrifo ar draws 12 o amrywiadau model.

Tabl 3.1: Newidiadau ym maint y cnwd deunydd sych blynyddol canolrif rhwng y cyfnodau astudio ar gyfer pob safle wedi'i fodelu, ar gyfer y model heb ffrwythloni CO₂.

| Locality | Median yield 1981-2020 (kg/ha) | Median yield 2041-2080 (kg/ha) | Percent change (%) |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| AngleseyVG | 6,500 | 4,500 | -30 |
| AngleseyAvg | 7,300 | 5,600 | -24 |
| Trelech | 10,200 | 9,900 | -2 |
| Wrexham | 7,600 | 5,900 | -23 |
| Vale | 11,000 | 9,300 | -16 |
| BuilthWells | 12,800 | 10,600 | -17 |

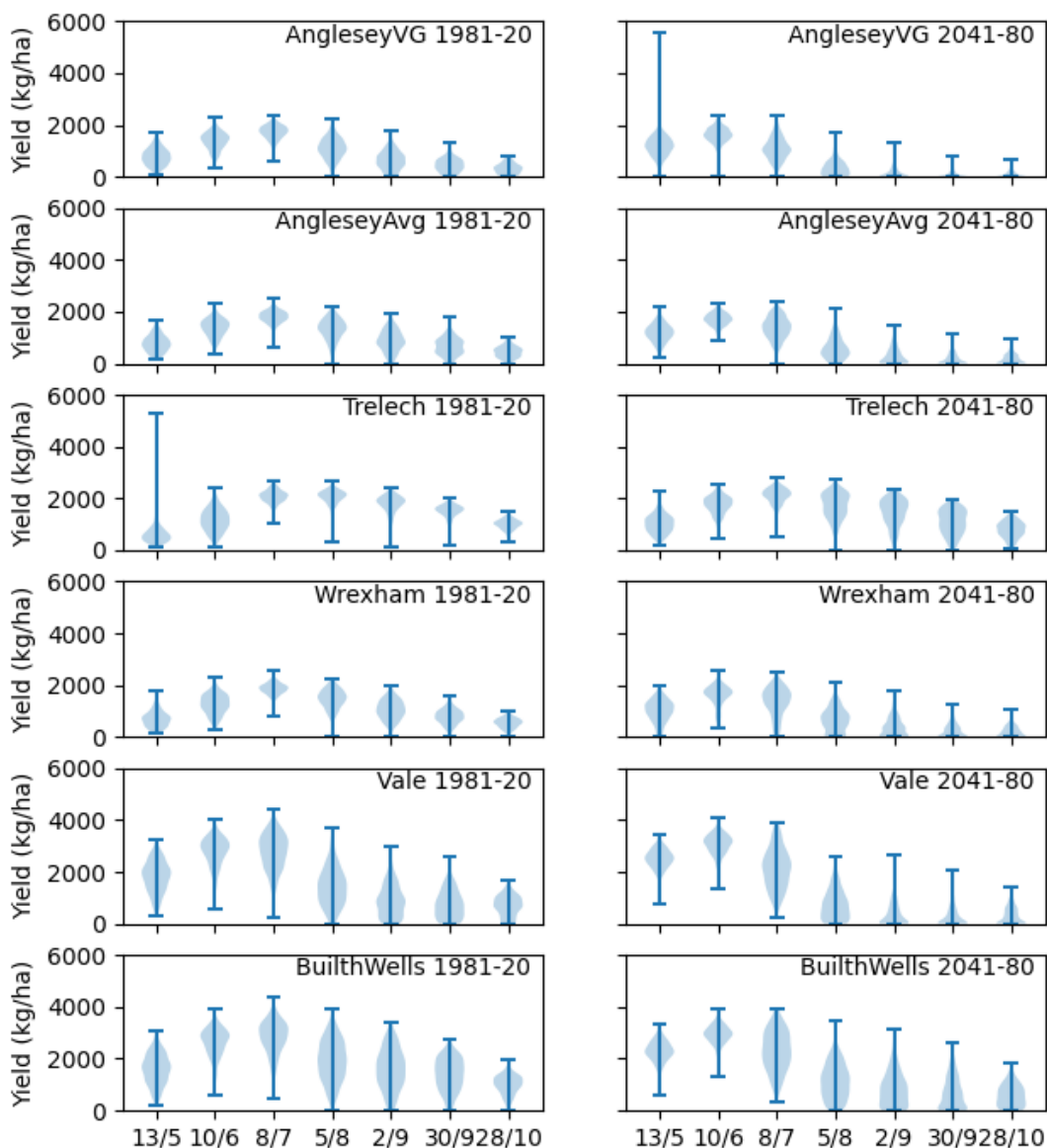
3.1.2 Tymoroldeb y cynhaeaf

Mae tymoroldeb maint cnwd deunydd sych drwy'r flwyddyn (Ffigur 3.3) yn helpu i esbonio'r newidiadau a welir yng nghyfanswm maint y cnwd. Yn ffenestr llinell sylfaen 1981-2020, roedd patrwm cyffredin ar gyfer pob un o'r chwe safle – maint cnwd cymedrol yn y gwanwyn yn codi i uchafbwynt ddechrau mis Gorffennaf ac, yn y rhan fwyaf o achosion, yn gostwng

yn raddol drwy ail hanner y flwyddyn. Ar bob safle, roedd cynaeafau canolrif ddiwedd mis Medi a mis Hydref yn fach, ond nid oeddent yn sero. Roedd y dirywiad mewn cynaeafau ar ôl uchafbwynt mis Gorffennaf yn gyflymach mewn rhai safleoedd nag eraill: Roedd Tryleg yn dirywio'n araf, a rhagwelwyd mai Bro Morgannwg fyddai'n gostwng gyflymaf.

Yn ffenestr amcanestyniad 2041-2080, newidiodd y patrymau mewn maint cnwd deunydd sych yn sylweddol. Yn gynnar yn y flwyddyn (dau gynhaef cyntaf), rhagwelwyd y byddai maint y cnwd yn cynyddu'n sylweddol uwch na llinell sylfaen 1981-2020. Roedd y trydydd cynhaef, ddechrau mis Gorffennaf, yn cyfateb yn fras i'r llinell sylfaen mewn llawer o flynyddoedd, ond rhagwelwyd gostyngiad amlwg mewn rhai blynyddoedd. Gostyngodd hyn y maint cnwd deunydd sych canolrif ar gyfer mis Gorffennaf o gymharu â'r llinell sylfaen. Newidiodd hyn y cyfnod cynhyrchu brig o ddechrau mis Gorffennaf i ddechrau i ganol mis Mehefin mewn pump o'r chwe safle.

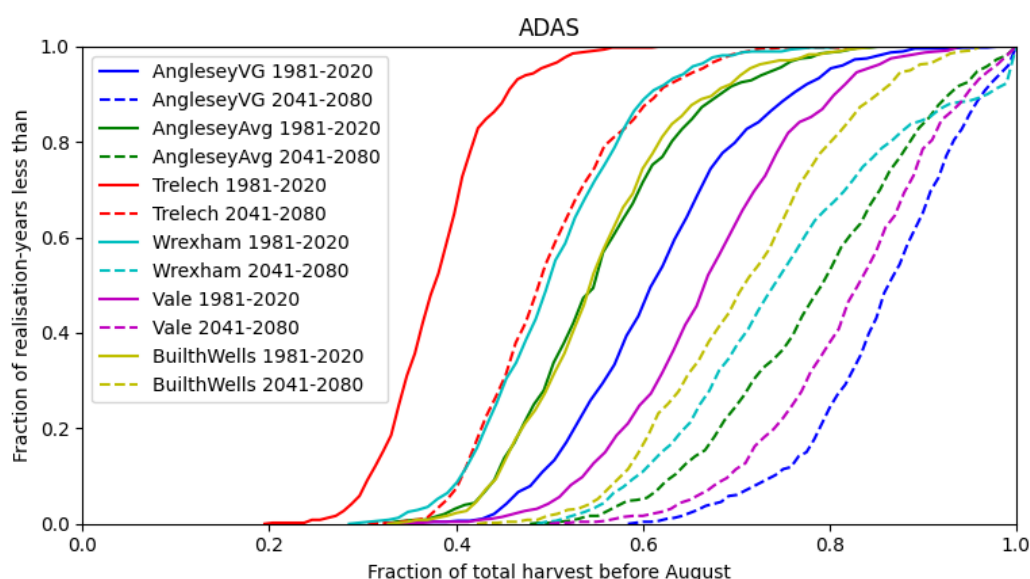
O gynhaef mis Awst ymlaen, rhagwelwyd bod maint cnwd canolrif ym mhob safle yn is na'r llinell sylfaen. Yn y safleoedd sy'n perfformio orau (Tryleg, Llanfair-ym-muallt), mynegwyd hyn fel ehangiad sylweddol o'r dosraniadau maint cnwd a ragwelwyd i werthoedd is, gan adlewyrchu blynyddoedd lawer o ostyngiadau sylweddol ym maint y cnwd. Fodd bynnag, mewn safleoedd eraill, roedd y newid am i lawr yn y dosbarthiad yn fwy difrifol: rhagwelwyd y byddai'r maint cnwd canolrif yn lleihau i sero ar gyfer cynaeafau ym mis Medi a mis Hydref, ac mewn tri o'r pedwar safle hwn, roedd y canolrif ar gyfer mis Awst yn agos iawn at sero hefyd.



Ffigur 3.3: Plotiau ffidil o faint cnwd deunydd sych efelychiadol ym mhob cynhaeaf mewn chwe safle astudio, ar gyfer ffenestr llinell sylfaen 1981-2020 (chwith) a ffenestr amcanestyniad 2041-2080 (dde) yn y model heb ymateb CO₂. Mae bariau yn cynrychioli ystod y data, ac mae'r ardaloedd wedi'u cysgodi'n cynrychioli siâp dosbarthiad y data ar gyfer pob cynhaeaf. Mae dosraniadau'n cynnwys 40 blwyddyn unigol wedi'u cyfrifo ar draws 12 o amrywiadau model.

Mae swyddogaethau dosbarthu cronus cyfran y cynhaeaf a gasglwyd cyn mis Awst yn darparu dull amgen o ddelwedd gwahaniaethau mewn patrymau maint cnwd ar gyfer y ffenestr llinell sylfaen a'r ffenestr amcanestyniad (Ffigur 3.4). Ym mhob achos, gwelwyd newid sylweddol am i fyny yn y ffracsiwn hwn yn y ffenestr ddiweddarach, gyda'r ffracsiwn canolrif yn cynyddu rhwng ~ 0.1 a ~ 0.3 pwynt. Yn nodedig, ar gyfer cyfnod 2041-2080, rhagwelwyd na fyddai pob safle heblaw Tryleg a Llanfair-ym-muallt yn cynhyrchu unrhyw

laswellt o gwbl ym mis Awst neu ar ôl hynny mewn rhai blynyddoedd. Unwaith eto, Tryleg oedd y safle a berfformiodd orau yn ôl y metrig hwn o bell ffordd.



Ffigur 3.4: Dosraniad ffraciwn efelychiadol o gyfanswm maint cnwd cyn mis Awst mewn chwe safle astudio yn ffenestr llinell sylfaen 1981-2020 (llinellau solet) a ffenestr amcanestyniad 2041-2080 (llinellau toredig), a gyflwynir fel swyddogaethau dosbarthu cronuss. Mae dosraniad yn cynnwys 40 blwyddyn unigol wedi'u cyfrifo ar draws 12 o amrywiadau model.

Roedd archwilio allbynnau'r model, ac yn arbennig ymatebion y gwahanol baramedrau graddio g yn Hafaliad (2.8) wrth i'r modelau esblygu, yn galluogi rhywfaint o ddealltwriaeth ansoddol o'r ddynmeg cynhaeaf a nodwyd uchod. Yn y gwanwyn yn y ffenestr amcanestyniad, rhagwelwyd y byddai'r cynyddau'n profi tymereddau ychydig yn uwch na'r llinell sylfaen, ac yn cael mynediad at leithder pridd digonol. Mae'r cynnwys lleithder yn adlewyrchu effeithiau cyfunol glawiad gormodol yn y gaeaf yn ailgyflenwi diffyg lleithder pridd o'r tymor tyfu blaenorol a glawiad y gwanwyn yn ailgyflenwi'r dŵr pridd, ac yna dim ond anwedd-drydarthiad cymedrol yn deillio o dymereddau cymedrol dechrau'r tymor. Fodd bynnag, ddiwedd yr haf, mae effeithiau cyfunol tymereddau cynyddol a ragwelir a llai o lawiad yn yr haf yn y senario yn y dyfodol yn rhoi straen ar y cnwd. Ar dymereddau uchel, mae g_T yn disgyn yn hytrach na chodi wrth i'r tymheredd godi, gan weithredu ar ei ben ei hun i leihau tyfiant. Mae'r gostyngiad a ragwelir mewn glawiad a'r cynnydd mewn anwedd-drydarthiad a gyflymir gan wres yn arwain at ostyngiadau cydamserol mewn g_w (h.y. sychder). Mae gostyngiadau cydamserol yn yr haf mewn g_T a g_w yn arwain at ostyngiad amlwg mewn cynhyrchiant glaswellt a ragwelir, er bod yr ymateb a ragwelir wedi'i ddominyddu gan newidiadau mewn g_w , y tymor lleithder pridd. Ni ragwelwyd y cynnydd ym maint cnwd y gwanwyn a sbardunir gan dymheredd i wneud iawn am y gostyngiadau hyn o ran maint cnwd yr haf, felly mae maint y cnwd yn disgyn mewn blwyddyn arferol.

Mae'r rheolaethau hyn ar gynhyrchiant yn esbonio perfformiad cryf Tryleg o ran maint y cnwd hefyd. Mae Tryleg ar uchder uchel (196 m; Tabl 2.1), sy'n lleihau tymheredd yr aer, ac mae ei safle yn y De-orllewin yn cael ei adlewyrchu mewn glawiad blynyddol cyfartalog

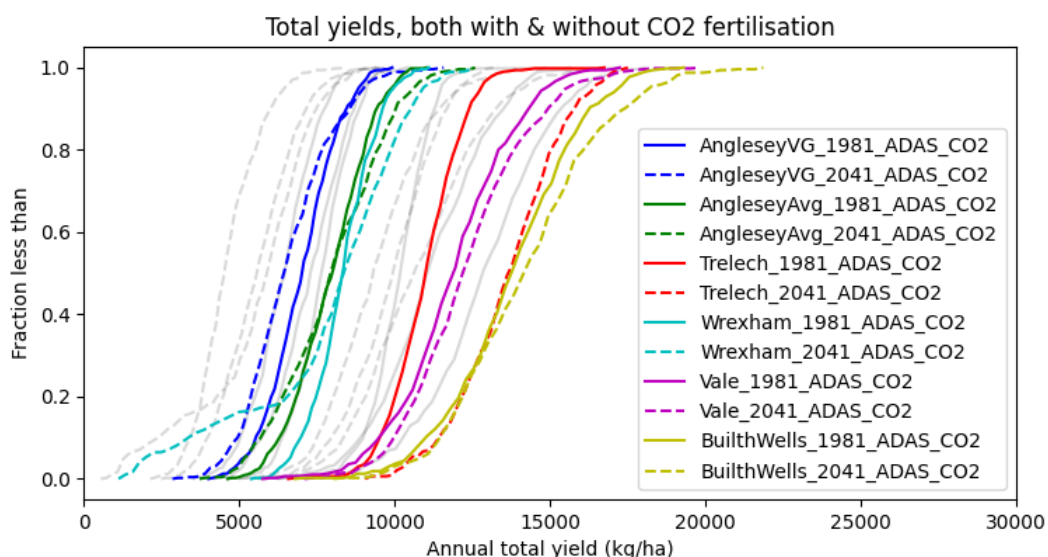
uchel. Mae'r nodweddion hyn yn cyfyngu ar y straen gwres a sychder sy'n dechrau ym mis Awst ar y safleoedd eraill.

3.2 Tasg 3. Effeithiau ffrwythloni CO₂ ar faint cnwd deunydd sych glaswellt.

Er mwyn ynysu effaith ffrwythloni CO₂ ar faint cnwd deunydd sych glaswellt, ailadroddwyd yr ymarfer modelu gan ddefnyddio'r AGM gyda sensitifrwydd CO₂ wedi'i gynnwys.

3.2.1 Cyfanswm maint cnwd deunydd sych

Cafodd ychwanegu ffrwythloni CO₂ i'r model effaith amlwg ar ragfynegiadau maint cnwd deunydd sych glaswellt (Ffigur 3.5, Tabl 3.2). Rhagwelwyd bod cynaeafau ~ 5-10% yn uwch na'r cynaeafau heb CO₂ yng nghyfnod llinell sylfaen 1981-2020, sy'n arteffact o'r ffordd y cafodd y model ei raddnodi gan ddefnyddio data'r 1970au. Fodd bynnag, dangosodd cymharu ffenestri 2041-2080 cyn ac ar ôl cynnwys CO₂ gynnydd sylweddol ym maint cnwd disgwylidig o tua 20 pwynt canran ar gyfer pob safle ym mhob blwyddyn pan gafodd CO₂ ei gynnwys. Dangosir hyn yn Ffigur 3.5 gan y newidiadau cyfochrog yn fras i'r dde yn y swyddogaethau dosbarthu cronus ar gyfer ffenestr 2041-2080 (llinellau toredig) ar ôl cynnwys CO₂ (gweler hefyd DablTabl 3.1, Tabl 3.2). Mae'r gwelliant hwn o 20% ym maint y cnwd oherwydd ffrwythloni CO₂ yn debyg i werthoedd a adroddwyd mewn manau eraill yn y llenyddiaeth (Dellar et al., 2018), gan gynnwys o fodolau rhifiadol eraill (e.e., Rodriguez et al., 1999). Mae'r newid am i fyny mewn cynhyrchiant yn golygu bod y model ffrwythloni CO₂ yn rhagweld **na fydd maint y cnwd wedi newid ryw lawer o'r rhagfynegiadau ffenestr llinell sylfaen** mewn pedwar o'n chwe safle. Rhagwelwyd y byddai'r safle sy'n perfformio waethaf (AngleseyVG) yn profi gostyngiad o 8% yn unig ym maint y cnwd; rhagwelwyd y byddai'r safle sy'n perfformio orau (Tryleg) yn profi *cynnydd* sylweddol (24%) ym maint y cnwd deunydd sych.



Ffigur 3.5: Dosraniad maint cnwd deunydd sych efelychiadol mewn chwe safle o'r fersiwn CO₂-sensitif o'r AGM. Llinellau solet yw'r ffenestr llinell sylfaen; llinellau toredig yw'r ffenestr amcanestyniad. Mae allbynnau'r model o'r model CO₂-ansensitif, sy'n union yr un

fath â'r rhai yn Ffigur 3.2, yn cael eu dangos yn llwyd i'w cymharu. Mae dosraniadau'n cynnwys 40 blwyddyn unigol wedi'u cyfrifo ar draws 12 o amrywiadau model.

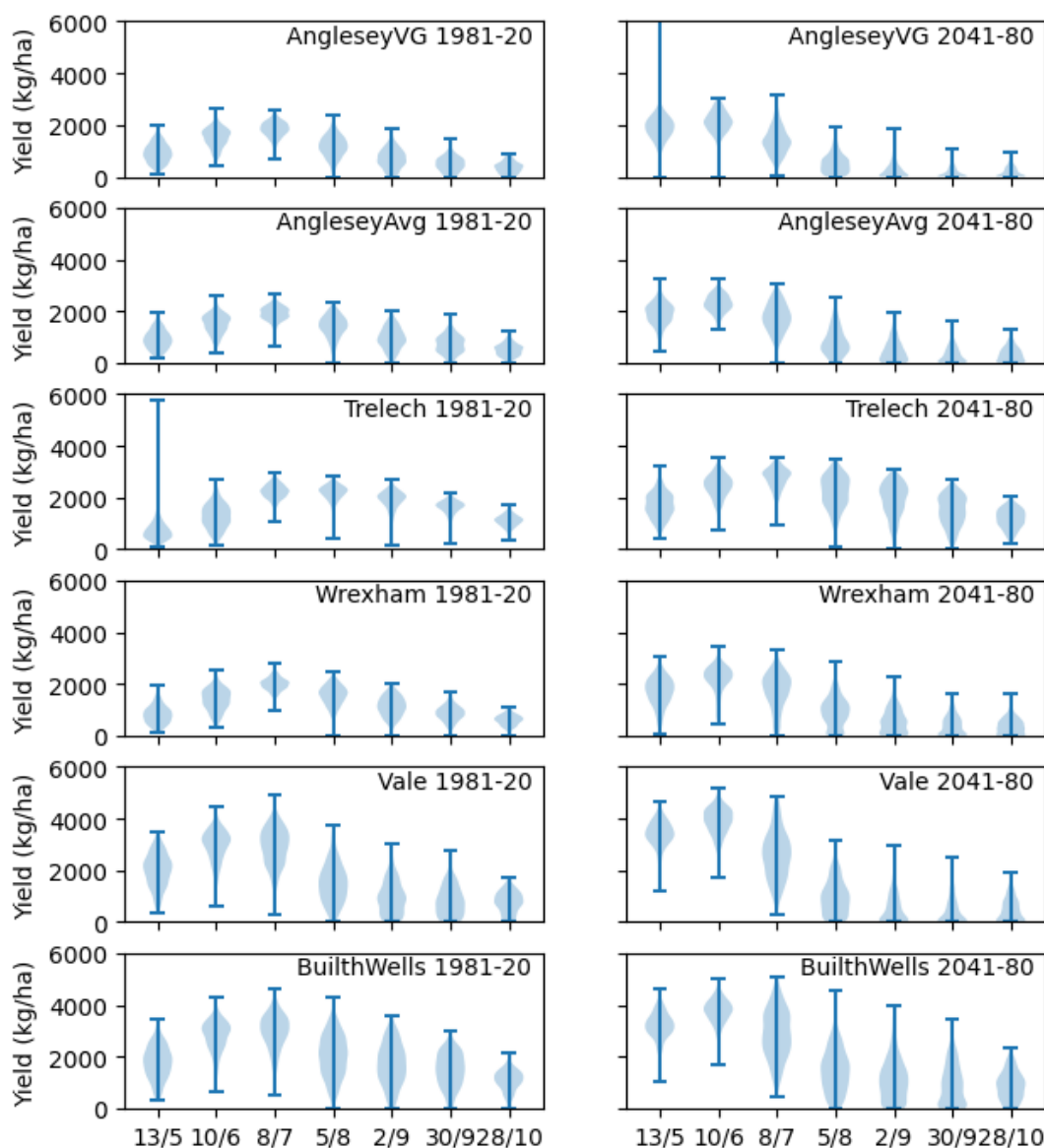
Tabl 3.2: Newidiadau ym maint y cnwd deunydd sych blynyddol canolrif rhwng y cyfnodau astudio ar gyfer pob safle wedi'i fodelu, o dan y model gyda ffrwythloni CO₂ (cf. Tabl 3.1).

| Locality | Median yield 1981-2020 (kg/ha) | Median yield 2041-2080 (kg/ha) | Percent change (%) |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| AngleseyVG | 7,000 | 6,400 | -8 |
| AngleseyAvg | 8,000 | 7,900 | -1 |
| Trelech | 11,000 | 13,700 | 24 |
| Wrexham | 8,300 | 8,400 | 0 |
| Vale | 11,900 | 12,200 | 3 |
| BuilthWells | 13,700 | 14,100 | 3 |

Roedd yr amrywioldeb yn y dosbarthiad maint cnwd llinell sylfaen a ragwelwyd yn debyg i'r achos dim-CO₂, a chynyddodd amrywioldeb y maint cnwd a ragwelwyd ar gyfer y senario yn y dyfodol ychydig hefyd, fel y gwnaeth yn Adran 3.1.1. Roedd trefn y safleoedd yn ôl cynhyrchiant maint cnwd canolrifol yr un fath â'r senario dim-CO₂ hefyd, yn y ddwy ffenestr (AngleseyVG-AngleseyAvg-Wrecsam-Tryleg-Bro Morgannwg-Llanfair-ym-Muallt ym 1981-2020; AngleseyVG-AngleseyAvg-Wrecsam-Bro Morgannwg-Tryleg-Llanfair-ym-Muallt yn 2041-2080).

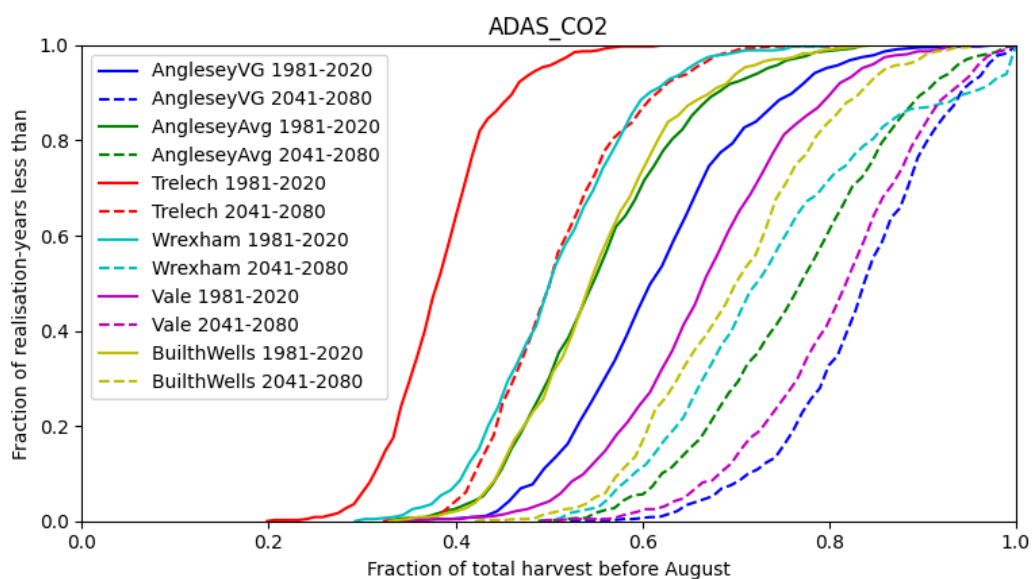
3.2.2 Tymoroldeb y cynhaeaf

Nid oedd llawer o wahaniaethau yn nhymoroldeb tyfiant wrth gymharu rhagfynegiadau'r ffenestr llinell sylfaen o ddwy senario CO₂ y model (Ffigur 3.3, Ffigur 3.6). Yn ffenestr amcanestyniad 2041-2080, nid oedd ffurf y dosbarthiad wedi newid ryw lawer o'r dosbarthiad heb ffrwythloni CO₂, gyda'r rhan fwyaf o safleoedd yn dal i ddangos **cynnydd mewn maint cnwd hyd at ddiwedd mis Mehefin, dirywiad i fis Gorffennaf, ac yna gostyngiad sydyn mewn cynhyrchiant o fis Awst ymlaen**. Fodd bynnag, cynyddodd y maint cnwd deunydd sych i gyd o gymharu â'r senario dim CO₂. Yn gyffredinol, roedd y cynnydd a ragwelwyd yn fach mewn termau absoliwt ar ddiwedd y tymor, ond yn gynnar yn y tymor fe wnaethant ychwanegu'n sylweddol at faint y cnwd. Yr effaith hon sy'n cyfrif am gynnal maint y cnwd ar gyfer llawer o safleoedd o dan y model CO₂-sensitif (Ffigur 3.5; Tabl 3.2). Gyda ffrwythloni CO₂, mae'r hwb i dyfiant yn gynnar yn y tymor a ragwelwyd yn gallu gwneud iawn bellach am y dirywiad tua diwedd y tymor.



Ffigur 3.6: Plotiau ffidil o faint cnwd deunydd sych efelychiadol ym mhob cynhaeaf mewn chwe safle astudio, ar gyfer ffenestr llinell sylfaen 1981-2020 (chwith) a ffenestr amcanestyniad 2041-2080 (dde) yn y model ffrwythloni CO₂. Mae bariau'n cynrychioli ystod y data, ac mae'r ardaloedd wedi'u cysgodu'n cynrychioli siâp dosbarthiad y data ar gyfer pob cynhaeaf. Mae dosraniadau'n cynnwys 40 blwyddyn unigol wedi'u cyfrifo ar draws 12 o amrywiadau model.

Nid oedd gwahaniaeth rhwng y ddau senario CO₂ mewn ffracsiwn o'r cynhaeaf a gymerwyd cyn mis Awst (Ffigur 3.7), gan y rhagwelwyd y byddai effaith CO₂ ar faint y cnwd deunydd sych yn gymesur ar gyfer pob mis.



Ffigur 3.7: Dosraniad ffraciwn efelychiadol o gyfanswm y cynhaeaf cyn mis Awst mewn chwe safle astudio yn y ffenestr llinell sylfaen 1981-2020 (llinellau solet) a'r ffenestr amcanestyniad 2041-2080 (llinellau toredig), o dan fodel CO₂-sensitif. Mae dosraniadau'n cynnwys 40 blwyddyn unigol wedi'u cyfrifo ar draws 12 o amrywiadau model. Mae cromliniau bron yn union yr un fath â'r rhai a welir yn yr achos CO₂ heb ei ffrwythloni (Ffigur 3.4).

4 TRAFODAETH

4.1 Pa safleoedd sy'n ffynnu?

Yn gyson drwy'r astudiaeth, rhagwelwyd mai newid hinsawdd fyddai'n cael yr effaith fwyaf cadarnhaol ar faint cnwd deunydd sych glaswellt ar safle Tryleg. Mae archwilio'r patrymau maint cnwd tymhorol yn awgrymu bod hyn oherwydd nad oedd disgwyl i'r safle brofi gostyngiadau sylweddol mewn maint cnwd ym mis Awst a misoedd diweddarach, yn wahanol i'r safleoedd eraill. Mae'n nodedig mai Tryleg sydd â'r glawiad cyfartalog blynyddol uchaf o'r holl safleoedd ar hyn o bryd, ac mae ei uchder uwchlaw lefel y môr yn ei wneud yn gymharol oer hefyd (Tabl 4.1). Mae hyn yn gyson â gweithrediad y model – rhagwelir y bydd glawiad uwch a thymereddau brig is yn yr haf a'r hydref yn darparu amodau tyfiant glaswellt da drwy gydol y tymor, gyda llai o effaith o wres a sychder.

Tabl 4.1: Tymereddau dyddiol a symiau glawiad cymedrig ar gyfer pob safle astudio. Noder mai safle Tryleg yw'r safle oeraf a gwlypaf.

| Site | Mean daily temperature 1981-2020 (deg C) | Mean daily temperature 2041-2080 (deg C) | Mean daily precipitation 1981-2020 (mm) | Mean daily precipitation 2041-2080 (mm) |
|-------------|--|--|---|---|
| AngleseyVG | 10.7 | 13.5 | 2.1 | 1.7 |
| AngleseyAvg | 10.6 | 13.5 | 2.5 | 2.1 |
| Trelech | 9.3 | 11.9 | 5.1 | 4.7 |
| Wrexham | 9.7 | 12.4 | 2.5 | 1.8 |
| Vale | 11.2 | 13.5 | 2.8 | 2.8 |
| BuilthWells | 11.2 | 13.6 | 3.9 | 4.0 |

Efallai y bydd disgwyl y bydd ardaloedd eraill yng Nghymru sy'n profi amodau tebyg yn ymateb yn yr un modd i newid hinsawdd. Mae hyn yn lled galonogol, gan fod y mapiau dosbarthiad (Ffigur 1.1, Ffigur 1.2) yn rhagweld yr amodau hyn yn weddol eang ar draws yr ardaloedd mewndirol, y Gorllewin a'r Canolbarth.

4.2 Canlyniadau newidiadau i dymoroldeb

Mae'r astudiaeth hon yn awgrymu, o ran cyfanswm maint y cnwd blynyddol, y bydd llawer o leoliadau (ond nid pob un) yng Nghymru yn profi newidiadau cymharol fach i faint cnwd deunydd sych blynyddol. Fodd bynnag, mae'r modelu'n awgrymu ei bod yn debygol y bydd newid i dymoroldeb tyfiant. Cyflawnwyd y sefydlogrwydd ym maint y cnwd a ragwelir yn 2041-2080 o gymharu â 1981-2020 o ganlyniad i gynnydd sylweddol a ragwelir mewn tyfiant yn gynnar yn y tymor a wnaeth iawn am ostyngiadau mawr i ddifrifol mewn maint cnwd ar gyfer cynaeafau ddiwedd y tymor, gydag ychydig o dyfiant glaswellt wedi'i ragweld o fis Awst ymlaen.

Mae'r newidiadau a ragwelir yn nhymoroldeb tyfiant glaswellt yn debygol o arwain at ganlyniadau sylweddol i systemau rheoli pori, gan y bydd y diffyg tyfiant glaswellt yn ystod diwedd yr haf yn lleihau hyd y tymor pori. Er mwyn gwneud y defnydd gorau o'r cynnydd a

ragwelir mewn tyfiant yn gynnar yn y tymor, mae'n debygol y bydd angen gwneud mwy o silwair i fwydo da byw yn ystod y cyfnodau o dyfiant glaswellt is. Mae hyn yn debygol o olygu y bydd angen buddsoddi mewn seilwaith fferm, gan gynnwys adeiladau i gadw da byw a strwythurau i storio glaswellt a gafodd ei gywain. Bydd cynnydd yn nifer y da byw sy'n cael eu cadw dan do yn cynyddu'r angen i storio a gwasgaru tail hefyd a fydd yn ychwanegu costau at fusnesau fferm. Gall gwneud silwair newid cynnwys maethol porthiant hefyd: Mae Wilkinson (2015) yn adrodd am ostyngiad mewn ynni metaboladwy o ~ 24% rhwng cae a chafn, wrth gymharu silwair â glaswellt.

Ni ragwelwyd gostyngiad mawr ym maint y cnwd deunydd sych yn hwyr yn y tymor ym mhob safle. Mae'r rhagfynegiadau enghreifftiol yn awgrymu y gallai gostyngiadau mewn maint cnwd yn hwyr y tymor fod yn gymharol fach mewn safleoedd fferm oerach a gwlypach, megis Tryleg. Gall y diffyg newidiadau mewn arddull rheoli a orfodir gan gynaeafau gwael yn hwyr yn y tymor roi premiwm pellach ar safleoedd o'r fath, yn ychwanegol at y cynnydd ym maint y cnwd y gallai safleoedd o'r fath ei dderbyn.

4.3 Cymhariaeth â dull categoreiddio

Roedd analluogi effeithiau crynodiadau CO₂ atmosfferig cynyddol yn yr AGM yn caniatáu cymhariaeth uniongyrchol o'r rhagfynegiadau enghreifftiol â'r dull categoreiddio (Ffigur 1.1, Ffigur 1.2) yn seiliedig ar ganllawiau cynhyrchiant tyfiant glaswellt yr AHDB Nutrient Management Guide (RB209) (Tabl 4.2). Yn gyffredinol, mae'r rhagfynegiadau enghreifftiol yn cefnogi'r dull categoreiddio yn ansoddol:

- Mae rhagfynegiadau maint cnwd ar gyfer safleoedd sydd wedi'u mapio fel dosbarth tyfiant glaswellt Da o dan amodau llinell sylfaen (presennol) wedi modelu maint cnwd sy'n sylweddol uwch na'r rhai sydd wedi'u mapio fel Cyfartalog a Gwael;
- Rhagwelwyd y byddai safle Tryleg, y mae'r categoreiddio'n nodi y bydd yn cadw ei ddsbarth tyfiant Da yn 2080, ond yn gweld gostyngiad bach, 3% yn unig yn y cyfanswm cynhyrchiant a fodelwyd;
- Mae safleoedd y rhagwelir y byddant yn disgyn o ran dosbarth cynhyrchiant i gyd yn profi gostyngiad o fwy na 10% mewn cynhyrchiant wedi'i fodelu.

Tabl 4.2: Crynodeb o fetrigau allweddol sy'n cymharu allbynnau mapio categorïau RB209 gydag allbynnau AGM. Noder fod y dosbarthiadau glawiad a gyflwynir yma yn dod o'r mapiau categoreiddio a gyflwynir yn Hockridge et al. (2020), a'u bod mewn rhai achosion

yn wahanol i'r data glawiad wedi'i addasu i ragfarn ac wedi'i fodelu i gymedr a ddefnyddir i sbarduno'r model (gweler Adran 2.1.2).

| Site | Current productivity class | Projected productivity 2080 | Soil type | Modern rainfall class | Modern water availability | Mean modelled rainfall 1981-2020 (mm/d) | Median yield, 1981-2020 (kg/ha) | Change w. CO ₂ fert. (%) | Change, no CO ₂ fert. (%) |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| AngleseyVG | Very good | Good | Silty clay loam | High | High | 2.1 | 7,000 | -8 | -30 |
| Trelech | Good | Good | Clay loam | High | Mid | 5.1 | 11,000 | 24 | -2 |
| Vale of Glamorgan | Good | Average | Silty clay | High | Mid | 2.8 | 11,900 | 3 | -16 |
| Builth Wells | Good | Poor | Clay loam | High | Mid | 3.9 | 13,700 | 3 | -17 |
| Wrexham | Poor | Very poor | Sandy loam | Mid | Low | 2.5 | 8,300 | 0 | -23 |
| AngleseyAvg | Average | Poor | Sandy loam | High | Low | 2.5 | 8,000 | -1 | -24 |

Fodd bynnag, mae rhywfaint o gam-baru yn y manylion. Mae cryn amrywioldeb yn bodoli o fewn pob dosbarth cynhyrchiant – sydd i'w ddisgwyl o ystyried ehangder y dull dosbarth – ac mae rhywfaint o orgyffwrdd rhwng dosbarthiadau. Er enghraifft, rhagwelwyd y byddai'r cynhyrchiant ar safle Cyfartalog Ynys Môn ychydig yn is na safle Gwael Wrecsam. Yn fwyaf amlwg, fodd bynnag, rhoddodd rhagfynegiadau ar gyfer safle Da lawn Ynys Môn (AngleseyVG) ganlyniadau rhyfeddol, gyda rhagfynegiadau o gynhyrchiant isel o dan yr hinsawdd bresennol a gostyngiadau pellach mewn maint cnwd erbyn 2080. Dehonglir y gwahaniaeth hwn fel un sy'n adlewyrchu nifer o ffactorau sy'n cyfuno'r canlynol: (i) bod y dosbarthiad yn rhoi mwy o bwysau ar y math o bridd wrth ragfynegi maint cnwd deunydd sych nag y mae'r model yn ei wneud, a bod y pridd yn cael ei ddsbarthu fel un da iawn ar gyfer tyfiant yn Ynys Môn; (ii) bod y safle'n isel iawn yn y categori glawiad Uchel; (iii) bod cyfartaledd y gyfres amser o lawiad a ddefnyddir yn y modelu yn sylweddol is na'r cyfartaledd a adroddir yn y set ddata a ddefnyddir ar gyfer y mapio.

Mae'r canfyddiadau hyn yn awgrymu bod y dull categorieiddio yn gadarn o ran sut y mae'n disgrifio newidiadau cymharol mewn cynhyrchiant ledled Cymru o ganlyniad i batrymau tywydd newidiol ar raddfeydd gofodol ehangach. Fodd bynnag, ar unrhyw safle penodol, gellir addasu ei ragfynegiadau gan amrywiad penodol a lleol yn y tywydd a'r math o bridd.

4.4 Ffrwythloni CO₂

Arweiniodd ymgorffori ffrwythloni CO₂ yn yr AGM at gynydd o tua 20 pwynt canran mewn maint cnwd a ragwelir. Dosbarthwyd y cynnydd yn gymesur drwy gydol y flwyddyn. Gan fod y model yn rhagweld mwy o faint cnwd deunydd sych yn y gwanwyn na'r haf, mae'r effaith ffrwythloni CO₂ hon yn trosi i ragfynegiadau o gynhyrchiant deunydd sych *absoliwt* uwch yn y gwanwyn.

Fodd bynnag, fel y nodwyd yn y Dulliau, mae'r model ffrwythloni CO₂ sydd wedi'i ymgorffori yn yr AGM yn gymharol syml. Er ei fod yn dynwared yn agos iawn y dull a gymerwyd mewn modelau cyhoeddedig eraill o dyfiant cnwd glaswellt (e.e., Romera et al., 2010), mae, fodd bynnag, yn anwybyddu neu'n symleiddio nifer o ffactorau ffisiolegol y gwyddys eu bod yn effeithio ar hyrwyddo tyfiant drwy CO₂. Mae'r rhain yn cynnwys rhyngweithio â thymheredd,

arbelydriad, argaeledd dŵr a lleithder, oedran dail, storfeydd ynni planhigion, newid i dwf atgenhedlu a blodeuo, argaeledd maethynnau, ymhlith effeithiau eraill (e.e., Kaiser et al., 2015; Rodriguez et al., 1999). Gellid ymgorffori rhai o'r ffactorau hyn yn y model mewn iteriad yn y dyfodol. Mae llawer o'r ffactorau hyn yn gweithredu fel cyfyngwyr ar brosesau biocemegol delfrydol ffotosynthesis, felly galledd ragweld bod AGM yn rhoi amcangyfrifon braidd yn optimistaidd o hyrwyddo tyfiant drwy CO₂.

4.5 Gwaith pellach

4.5.1 Newid hinsawdd a strategaethau rheoli

Mae'r modelu yn yr astudiaeth hon wedi cymryd yn ganiataol y bydd strategaethau rheoli ar y cnwd efelychiadol yn aros yn ddigifnewid wrth i'r hinsawdd newid. Mewn gwirionedd, mae nifer o ffactorau eraill y gellid eu hystyried wrth asesu effeithiau newid hinsawdd ar gynhyrchiant glaswellt. Mae'r rhain yn cynnwys:

- Newidiadau mewn cyfundrefnau cynaeafu (e.e. dechrau pori'n gynt)
- Amseru a chyfraddau defnydd maethynnau
- Gwelliannau cynhenid mewn cynhyrchiant cynydu dros amser
- Newidiadau adweithiol mewn rheoli glaswelltir mewn ymateb i newidiadau mewn maint cnwd wrth iddynt ddigwydd yn y dyfodol (e.e. mabwysiadu dyfrhau yn hwyr yn y tymor)
- Newidiadau i arddull bugeiliol (e.e. defaid i wartheg)
- Newidiadau yn sgil polisi'r llywodraeth
- Defnydd tir ar raddfa ranbarthol:
 - troi tir â'r yn laswelltir a reolir
 - lleihau arwynebedd tir amaethyddol (gan gynnwys newidiadau defnydd tir i gyflawni buddion amgylcheddol – bioamrywiaeth, lleihau llygredd amaethyddol ac ati)
 - defnyddio cynydu amgen, neu newidiadau i gymysgeddau o rywogaethau glaswellt, porfa a chodlysiau

Bydd llawer o'r newidiadau hyn yn digwydd o ganlyniad i ymyrraeth polisi, buddiannau economaidd fferm a phwysau amgylcheddol gorfodol. Gellid addasu'r modelu yn yr astudiaeth hon i ymgorffori nifer o'r effeithiau rheoli hyn, y gellid eu defnyddio i wella dealltwriaeth o effeithiau rheolaethau ar ddefnydd tir wrth i'r hinsawdd newid.

4.5.2 Ansawdd glaswellt

Dim ond y maint cnwd deunydd sych o gynhaef y mae iteriad presennol yr AGM yn ei amcangyfrif. Fodd bynnag, os yw glaswellt i'w ddefnyddio i fwydo da byw, mae cynnwys egni ac ansawdd y màs hwnnw o laswellt yn bwysig hefyd. Gall un mesur o hyn, cynnwys nitrogen rhygwellt, amrywio'n sylweddol, gan newid ochr yn ochr â chyfraddau tyfu, y math o dyfiant (llystyfiant yn erbyn atgenhedlu), a chyfundrefn gynaeafu, ymhlith newidynnau eraill (e.e., Culleton et al., 1986). Efallai y bydd disgwyl i'r holl bamedrau hyn newid wrth i'r hinsawdd newid, fel y nodir yma. Yn yr un modd, mae cynnwys ffibr glaswellt yn amrywio, er enghraifft, yn ôl amser y flwyddyn, gyda chynaeafau cynharach, mwy deiliog â llai o ffibr is a chynnwys maethol uwch.

Gallai modelu yn y dyfodol yn seiliedig ar yr hyn a gyflwynir yma gynnwys asesiad o ansawdd glaswellt ochr yn ochr â maint cnwd swmp. Mae'n debygol y bydd y newid mewn tyfiant yn gynnar yn y tymor a ragwelir yn yr astudiaeth hon yn arwain at ganlyniadau sylweddol, cadarnhaol o bosibl, ar gyfer cynnwys maethol glaswellt.

4.5.3 Ansicrwydd systematig

Mae'r prosiect hwn wedi darparu rhagfynegiadau o effaith newid hinsawdd ar dyfiant glaswellt mewn chwe safle dangosol ledled Cymru. Byddai dull mwy systematig sy'n mapio cynhyrchiant ledled y wlad yn darparu dealltwriaeth fanylach o'r ffactorau rheoli unigol (glawiad, gwynt, tymheredd, cymyledd, y math o bridd ac ati). Byddai hyn yn caniatáu gwell amcangyfrifon o effeithiau newidiadau i'r tywydd ar raddfeydd mwy lleol (e.e. ar gyfer ffermydd unigol, ac fel mapiau cenedlaethol), a chyfrifo cyfnodau hyder a rhagamcaniadau tebygolrwydd.

5 CYFEIRIADAU

- AHDB (2021), *Nutrient Management Guide (RB209)*.
- Allen, R. G., Jensen, M. E., Wright, J. L., a Burman, R. D. (1989), 'Operational estimates of reference evapotranspiration', *Agronomy Journal*, 81/4: 650–662.
- Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L. S., a Perrier, A. (1994), 'An update for the calculation of reference evapotranspiration', *ICID Bulletin*, 43/2: 35–92.
- Brereton, A., Danielov, S., a Scott, D. (1996), *Agrometeorology of grass and grasslands for middle latitudes. Technical Note 197* (Genefa, Y Swisdir: World Meteorological Organisation (839)).
- Brockman, J. (1995), 'Grassland', yn J. Soffe (gol), *Primrose McConnell's The Agricultural Notebook* (19th ed.) (Oxford: Blackwell).
- Chang, J., Ciais, P., Viovy, N., Soussana, J.-F., Klumpp, K., a Sultan, B. (2017), 'Future productivity and phenology changes in European grasslands for different warming levels: implications for grassland management and carbon balance', *Carbon Balance and Management*, 12/11:.
- Christy, B., Tausz-Posch, S., Tausz, M., Richards, R., Rebetzke, G., Condon, A., McLean, T., Fitzgerald, G., Bourgault, M., ac O'Leary, G. (2018), 'Benefits of increasing transpiration efficiency in wheat under elevated CO₂ for rainfed regions', *Global Change Biology*, 24/5: 1965–1977.
- Craig, J. (1984), 'Basic routines for the Casio computer', *Wayne Green Books, Peterborough, NH*, 3458: 131.
- Culleton, N., Fleming, G. A., a Murphy, W. E. (1986), 'A Preliminary Investigation into the Nitrogen Content of Three Cultivars of Perennial Ryegrass (*Lolium perenne* L.)', *Irish Journal of Agricultural Research*, 25/3: 307–312.
- Dellar, M., Topp, C. F. E., Banos, G., a Wall, E. (2018), 'A meta-analysis on the effects of climate change on the yield and quality of European pastures', *Agriculture, Ecosystems a Environment*, 265: 413–420.
- Department for Environment, Food a Rural Affairs (2020), *The British survey of fertiliser practice. Fertiliser use on farm crops for crop year 2019* (Fertiliser Manufacturers Association (FMA)).

- Department for Environment, Food and Rural Affairs, Department of Agriculture, Environment and Rural Affairs (Northern Ireland), Llywodraeth Cymru, Gwasanaethau Gwybodaeth a Dadansoddol, a The Scottish Government, Rural and Environment Science and Analytical Services (2020), *Agriculture in the United Kingdom 2019* (National Statistics Service).
- Doyle, C., Ridout, M., Morrison, J., and Edwards, C. (1986), 'Predicting the response of perennial ryegrass to fertilizer nitrogen in relation to cutting interval, climate and soil', *Grass and Forage Science*, 41/4: 303–310.
- Duffie, J. A., and Beckman, W. A. (1980), 'Solar engineering of thermal processes', *NASA STI/Recon Technical Report A*, 81: 16591.
- Fung, F. (2018), *How to Bias Correct, UKCP18 Guidance*, Met Office.
- Gohar, L. K., Lowe, J. A., and Bernie, D. (2017), 'The Impact of Bias Correction and Model Selection on Passing Temperature Thresholds: Timings of Passing Warming Levels', *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122/22: 12,045-12,061.
- Hawkins, E., Fricker, T. E., Challinor, A. J., Ferro, C. A. T., Ho, C. K., and Osborne, T. M. (2013a), 'Increasing influence of heat stress on French maize yields from the 1960s to the 2030s', *Global Change Biology*, 19/3: 937–947.
- Hawkins, E., Osborne, T. M., Ho, C. K., and Challinor, A. J. (2013b), 'Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: An idealised case study over Europe', *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 19–31.
- Hess, T., Knox, J., Holman, I., and Sutcliffe, C. (2020), 'Resilience of Primary Food Production to a Changing Climate: On-Farm Responses to Water-Related Risks', *Water*, 12/8: 2155.
- Hockridge, B., Rollett, A. J., and Williams, J. R. (2020), *Grass Growth Classes, Report Code SPEP2020-21/01*, Llywodraeth Cymru (ADAS).
- Hollis, D., McCarthy, M., Kendon, M., Legg, T., and Simpson, I. (2019), 'HadUK-Grid—A new UK dataset of gridded climate observations', *Geoscience Data Journal*, 6/2: 151–159.
- IPCC (2014), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]* (Geneva, Switzerland: IPCC).

- Kaiser, E., Morales, A., Harbinson, J., Kromdijk, J., Heuvelink, E., a Marcelis, L. F. M. (2015), 'Dynamic photosynthesis in different environmental conditions', *Journal of Experimental Botany*, 66/9: 2415–2426.
- Laidlaw, A. S. (2009), 'The Effect of Soil Moisture Content on Leaf Extension Rate and Yield of Perennial Ryegrass', *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 48/1: 1–20.
- MAFF (1988), *Agricultural Land Classification of England and Wales: Revised guidelines and criteria for grading the quality of agricultural land* (London: Ministry of Agriculture Fisheries and Food).
- McCall, D. G., a Bishop-Hurley, G. J. (2003), 'A pasture growth model for use in a whole-farm dairy production model', *Agricultural Systems*, 76/3: 1183–1205.
- Met Office Hadley Centre (2018a), *UKCP18 Regional Climate Model Projections for the UK. Centre for Environmental Data Analysis, April 2021.*
<http://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/b4d24b3df3754b9d9028447eb3cd89c6>.
- Met Office Hadley Centre (2018b), *UKCP18 Regional Projections on a 12km grid over the UK for 1980-2080. Centre for Environmental Data Analysis, April 2021.*
<https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/589211abeb844070a95d061c8cc7f604>.
- Met Office, Hollis, D., McCarthy, M., Kendon, M., Legg, T., a Simpson, I. (2018), *HadUK-Grid gridded and regional average climate observations for the UK. Centre for Environmental Data Analysis, April 2021.* <http://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/4dc8450d889a491ebb20e724debe2dfb>.
- Met Office, Hollis, D., McCarthy, M., Kendon, M., Legg, T., a Simpson, I. (2020), 'HadUK-Grid Gridded Climate Observations on a 12km grid over the UK, v1.0.2.1 (1862-2019)', *Centre for Environmental Data Analysis*, 21 Hydref 2020:
- Monteith, J. L. (1965), 'Evaporation and environment', *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 19: 205–234.
- Monteith, J. L. (1981), 'Evaporation and surface temperature', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 107/451: 1–27.
- Morrison, J., Jackson, M. V., a Sparrow, P. E. (1980), *The response of perennial ryegrass to fertilizer nitrogen in relation to climate and soil. Report of the Joint ADAS/GRI Grassland Manuring Trial – GM 20. G.R.I Technical Report 27* (Hurley, Maidenhead, Berkshire, SL6 5LR).

- Neil, S. (2020), *June 2020 Survey of Agriculture and Horticulture: Results for Wales* (Llywodraeth Cymru).
- Piani, C., Haerter, J. O., a Coppola, E. (2010), 'Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe', *Theoretical and Applied Climatology*, 99/1–2: 187–192.
- Rodriguez, D., Van Oijen, M., a Schapendonk, A. H. M. C. (1999), 'LINGRA-CC: a sink–source model to simulate the impact of climate change and management on grassland productivity', *New Phytologist*, 144: 359–368.
- Romera, A. J., Beukes, P., Clark, C., Clark, D., Levy, H., a Tait, A. (2010), 'Use of a pasture growth model to estimate herbage mass at a paddock scale and assist management on dairy farms', *Computers and Electronics in Agriculture*, 74/1: 66–72.
- Romera, A. J., McCall, D. G., Lee, J. M., ac Agnusdei, M. G. (2009), 'Improving the McCall herbage growth model', *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 52/4: 477–494.
- Schapendonk, A. H. C. M., Stol, W., van Kraalingen, D. W. G., a Bouman, B. A. M. (1998), 'LINGRA, a sink/source model to simulate grassland productivity in Europe', *European Journal of Agronomy*, 9/2–3: 87–100.
- Schwalm, C. R., Glendon, S., a Duffy, P. B. (2020), 'RCP8.5 tracks cumulative CO2 emissions', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117/33: 19656–19657.
- Semenov, M. A. (2009), 'Impacts of climate change on wheat in England and Wales', *Journal of The Royal Society Interface*, 6/33: 343–350.
- Switanek, M. B., Troch, P. A., Castro, C. L., Leuprecht, A., Chang, H.-I., Mukherjee, R., a Demaria, E. M. C. (2017), 'Scaled distribution mapping: a bias correction method that preserves raw climate model projected changes', *Hydrology and Earth System Sciences*, 21/6: 2649–2666.
- Thomas, C., ac Young, J. (Gols.) (1990), *Milk From Grass* (2nd ed.) (Billingham, Perth a Hurley: ICI, SAC, Grassland Research Institute).
- Watson, J., Challinor, A. J., Fricker, T. E., a Ferro, C. A. T. (2015), 'Comparing the effects of calibration and climate errors on a statistical crop model and a process-based crop model', *Climatic Change*, 18.

Whiteley, A., Willingham, L., Hockridge, B., Anthony, S., a Berry, P. (2018), *GRASS Improvement Using Satellite TECHnologies (GRASSS-TECH) Summary Report: Developing existing grass growth model to make use of remotely sensed data. ADAS report to AHDB (project reference 61100012).*

Wilkinson, J. M. (2015), 'Managing silage making to reduce losses', *Livestock*, 20/5: 280–286.

Wolf, J. (2006), *Grassland data from PASK study a Testing of LINGRA* (Wageningen: PPS).