

## Монгол орны ялгаатай хээрийн ургамал бүлгэмдлийн ургамал, хөрсний шинж чанарт уур амьсгал болон бэлчээрлэлтийн нөлөө

Эрдэнэбилэгийн Энхмаа\*, Төгсбаярын Батзориг, Гачмаагийн Батзаяа, Нармандахын Энхриймаа, Баясгаланхүүгийн Лянхуа, Пүрэвдоржийн Хатансайхан, Индрээгийн Түвшинтогтох

*Шинжлэх Ухааны Академийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэн, Ургамалжлын экологийн салбар, Улаанбаатар 13330, Монгол улс*

\*И-мэйл: [enkhmaa\\_e@mas.ac.mn](mailto:enkhmaa_e@mas.ac.mn), <https://orcid.org/0000-0003-1345-5058>

<https://doi.org/10.5564/mjb.v7i33.5378>

---

Хүлээн авсан: 31.05.2025      Хянасан: 11.08.2025      Хэвлэлтэнд: 05.09.2025

---

**Хураангуй:** Ургамлын эдийн засгийн стратеги буюу ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар нь хээрийн экосистемийн чиг үүрэгт ургамлын төрөл зүйлийн нөлөөллийг тодорхойлогч гол хүчин зүйл болдог бөгөөд тухайн экосистемийн шинж чанарыг тодорхойлдог. Шим тэжээлээр хязгаарлагдмал нөхцөлтэй манай орны хээрийн экосистемийн хөрс, ургамлын шинж чанар тодорхойгүй байгаа тул энэхүү судалгаагаар ялгаатай хээрийн бүсийн ургамал бүлгэмдлийг (уулын хээр-УХ, хуурай хээр-ХХ, цөлөрхөг хээр-ЦХ) сонгон түүнд зонхилогч зүйл ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар болон хөрсний шинж чанарыг тодорхойлж, уур амьсгал болон бэлчээрлэлтийн нөлөөг илрүүлэх зорилготой ажиллалаа. Бүлгэмдлийн үйл ажиллагааны жигнэгдсэн дундаж утгыг харьцуулж үзэхэд ургамлын навчны талбайн хэмжээ уулын хээрт харьцангуй өндөр (58.04 –168.15 см<sup>2</sup> г-1) бөгөөд хуурай хээр, цөлөрхөг хээрт харьцангуй бага (4.44 –101.05 см<sup>2</sup> г-1) байсан бол харин үндэсний урт эсрэг үзүүлэлттэй байна. Харин гурван бүлгэмдлийн ургамлын макро-элементийн агууламжийг бүлгэмдэл хооронд харьцуулахад уулын хээрийн навч болон үндэсний фосфор (навч: УХ 0.3 ± 0.03; ХХ, ЦХ нь 0.13~0.15 ± 0.02; үндэс: УХ 0.23 ± 0.04; ХХ, ЦХ нь 0.13~0.14 ± 0.01), нүүрстөрөгч (навч: УХ 2.9 ± 0.11; ХХ, ЦХ нь 2.7~2.8 ± 0.1 үндэс: УХ 3.1 ± 0.10; ХХ, ЦХ нь 2.6~2.9 ± 0.04) нь бусад хоёр бүлгэмдлээс харьцангуй өндөр харин азотын агууламж (навч: УХ 0.32 ± 0.03; ХХ, ЦХ нь 0.52~0.55 ± 0.02; үндэс: УХ 0.21 ± 0.02; ХХ, ЦХ нь 0.28 ± 0.02) бага байна. Бүтцийн тэгшитгэлийн загварчлалын (SEM) шинжилгээний үр дүнд уур амьсгал нь хөрсний химийн шинж чанарт уулын хээр болон цөлөрхөг хээрийн ургамал бүлгэмдэлд шууд эерэг хүчтэй нөлөөтэй бол хуурай хээрийн ургамал бүлгэмдэлд шууд сөрөг хүчтэй нөлөө үзүүлж байгаа бөгөөд хөрсний химийн шинж чанараар дамжуулан ургамлын шинж чанарт дам эерэг нөлөө үзүүлж байна. Мал бэлчээрлэлт нь хөрсний химийн шинж чанарт хуурай хээрийн бүлгэмдэлд шууд сөрөг, ургамлын химийн шинж чанарт уулын хээр болон хуурай хээрийн бүлгэмдэлд шууд сөрөг нөлөөтэй. Харин цөлөрхөг хээрийн бүлгэмдлийн ургамлын үйл ажиллагаа, ургамлын хими болон хөрсний химийн шинж чанарт шууд бус нөлөөтэй байна. Үүнээс үзэхэд ялгаатай хээрийн ургамал бүлгэмдлийн хөрс болон ургамлын шинж чанарт уур амьсгал чухал хүчин зүйл бөгөөд харин бэлчээрлэлт нь ялангуяа цөлөрхөг хээрт сөрөг нөлөөтэй болохыг харуулж байна.

**Түлхүүр үгс:** Уулын хээр, хуурай хээр, цөлөрхөг хээр, ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар, ургамлын химийн шинж чанар, хөрсний химийн шинж чанар, уур амьсгалын хүчин зүйлс, бэлчээрлэлт

**Эшлэл авахдаа:** Энхмаа Э\*, Батзориг Т., Батзаяа Г., Энхриймаа Н., Лянхуа Б., Хатансайхан П., Түвшинтогтох И. 2025. Монгол орны ялгаатай хээрийн ургамал бүлгэмдлийн ургамал, хөрсний шинж чанарт уур амьсгал болон бэлчээрлэлтийн нөлөө. Монголын ботаникийн сэтгүүл, 07(33): 20-45

## Удиртгал

Монгол орны нийт нутгийн 66% нь хээрийн экосистем бөгөөд үүнээс уулын хээр 12.9%, хуурай хээр 22.1%, цөлөрхөг хээр 20% тус тус эзэлдэг (Түвшинтогтох, 2014). Бэлчээр нь хээрт хамгийн их тохиолдог төдийгүй уур амьсгалын өөрчлөлтөд эмзэг учраас хээрийн ургамал бүлгэмдлийн зонхилогч зүйл солигдож, идэмж муутай, экологийн хувьд доройтлын таниур ургамлууд дүүргэн ургах нөхцөлийг бүрдүүлж байдаг (Түвшинтогтох, 2014). Ургамал бүлгэмдэлд бэлчээрлэлтийн үзүүлэх нөлөөлөл нь анхдагч бүтээмжтэй харилцан уялдаатай байдгийг олон улсын хэд хэдэн тойм судалгаа харуулсан байдаг (Cingolani et al., 2005; Milchunas and Lauenroth, 1993). Гэсэн ч эдгээр харилцан хамаарлыг уур амьсгал (хур тунадас, температур), газарзүйн онцлог, нөхцөл зэрэг абиотик хүчин зүйлс зохицуулж байдгийг зарим судалгаанууд баталж байна (Хосбаяр нар, 2015; Гомболүүдэв нар, 2010). Түүнчлэн, уур амьсгалын өөрчлөлт болон хүний үйл ажиллагааны улмаас бэлчээр ашиглалтад өөрчлөлт орж байгаа нь экосистемийн үндсэн үйлчилгээнд сөргөөр нөлөөлж байна. Тухайлбал, хөрсний тогтвортой байдал, ургамлын бүтээмж, шим тэжээлийн (нүүрстөрөгч, азот, фосфор) эргэлтийн үйл явц буурах хандлагатай байна (Fang et al., 2018; Liu et al., 2018; Zhang et al., 2017; López- López-Mársico et al., 2015).

Хээрийн экосистемийн үйлчилгээг тодорхойлогч гол түлхүүр нь ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар байдаг (functional traits; Lavorel, 2013; Lienin and Kleyer, 2012). Эдгээр шинж чанарууд нь ургамлын оршин тогтнох, өсөлт хөгжилт, нөхөн үржихүйд нөлөөлдөг морфологи, физиологи, фенологийн үзүүлэлтүүдээр илэрхийлэгддэг (Papanikolaou et al., 2011; Violle et al., 2007). Тухайлбал, Wang et al. (2019) нарын Монголын тэгш өндөрлөгийн 10 байршилд бэлчээрлэлт нь хөрсний бичил тэжээлийн сүлжээ (бактери, мөөг, нематод гэх мэт) болон экосистемийн үйл ажиллагаанд (жишээлбэл, хөрсний нүүрстөрөгч ба азотын эрдэсжилт) хэрхэн нөлөөлж байгааг харуулсан. Судалгааны үр дүнгээс харахад ихэвчлэн бэлчээрлэлт нь газар дээрх болон газар доорх биологийн олон янз байдлыг өөрчилж, тэдгээрийн нүүрстөрөгч (C) болон азотын (N) эргэлтийн бүс нутгийн хэмжээнд илэрч буй өөрчлөлтөд нөлөөлж байгааг тогтоожээ. Гэсэн ч эдгээр өөрчлөлт нь орон зайн цар хүрээ, газар ашиглалтын онцлогоос хамаарч ялгаатай илэрдэг бөгөөд хөрсөн дэх идэш тэжээлийн хэлхээ болон экосистемийн үйл ажиллагааны хоорондын хамаарал нь тогтвортой бус болохыг харуулсан байна.

Тиймээс бид энэхүү судалгааны ажлаар ялгаатай хээрийн экосистемийн ургамал бүлгэмдлийн зонхилогч зүйл ургамлын үйл ажиллагааны шинж

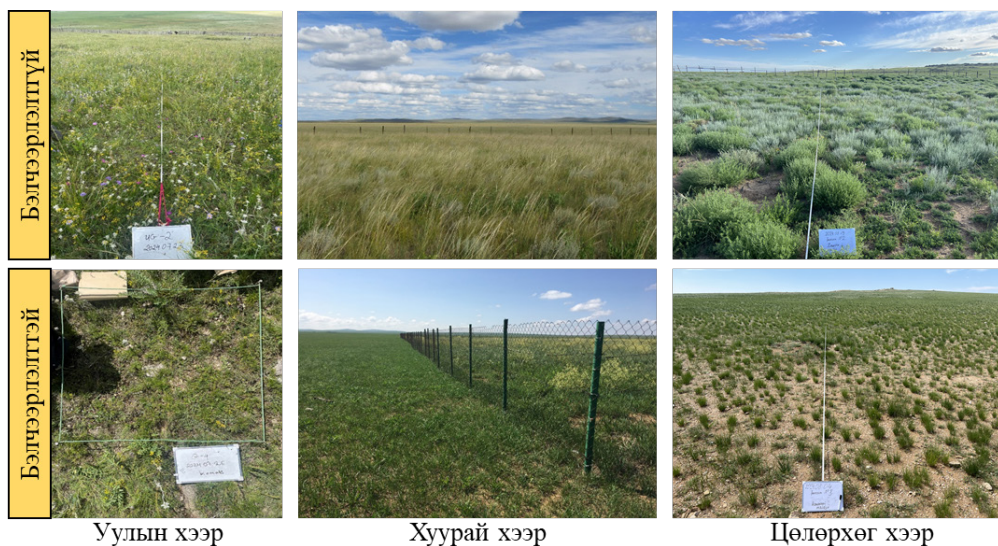
чанар болон хөрс, ургамлын химийн элементийн агууламжийг тогтоож, үүнд бэлчээрлэлт, уур амьсгалын хүчин зүйлийн нөлөөллийг илрүүлэх зорилготой ажиллалаа.

### Судалгааны материал, арга зүй

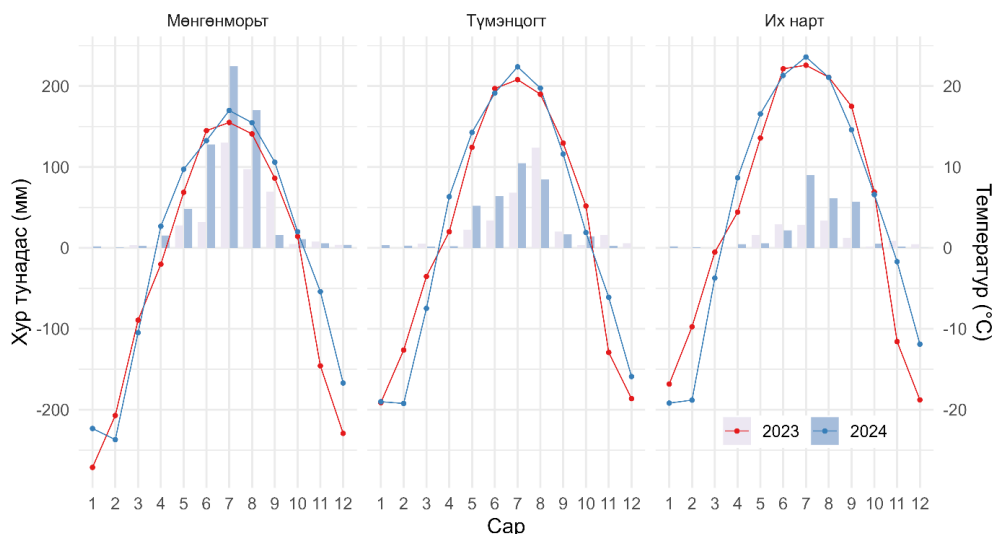
#### Судалгаа явуулсан газрын ерөнхий мэдээлэл

Судалгааг ШУА-ийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэнгийн Ургамалжлын экологийн салбарын ургамалжлын урт хугацааны мониторинг судалгааны суурин төвүүд буюу Төв аймгийн Мөнгөнморьт сумын Баруун бүрхийн амны уулын хээрийн Үетэн-алаг өвст бүлгэмдэл, Сүхбаатар аймгийн Түмэнцогт сумын Талын шандын хуурай хээрийн Алаг өвс-нангиад түнгэ-том хялганат бүлгэмдэл, Дорноговь аймгийн Даланжаргалан сумын “Их Нарт” байгалийн нөөц газрын цөлөрхөг хээрийн Агь-таана-говийн хялганат бүлгэмдэлд 2023 болон 2024 онуудад тус тус хийж гүйцэтгэсэн (Зураг 1).

Уулын хээр, хуурай хээр болон цөлөрхөг хээрийн 2023 болон 2024 онуудын агаарын дундаж температур болон нийлбэр хур тунадасны хэмжээг үзэхэд жилийн дундаж агаарын температур нугажуу хээрт  $-2.50^{\circ}\text{C}$ , хуурай хээрт  $1.94^{\circ}\text{C}$  харин цөлөрхөг хээрт  $3.81^{\circ}\text{C}$  тус тус байна (Зураг 2). Харин нийлбэр хур тунадас нь нугажуу хээрт 502.1 мм, хуурай хээрт 330.4 мм байсан бол цөлөрхөг хээрт 196.3 мм байна (Зураг 2). Энэ нь олон жилийн дунджаас даруй 11-30% их хур тунадас унасан мөн агаарын дундаж температур 1 дахин хүйтэн жил байсныг илтгэж байна (Энхмаа нар., 2025 суурь судалгааны төслийн тайлан). Мөн түүнчлэн гурван ургамал бүлгэмдлийн ургамал ургалтын үеийн хур тунадас болон агаарын дундаж температурыг харьцуулж үзэхэд уулын хээрт 7 дугаар сард хамгийн их буюу 177.4 мм хур тунадас унасан бол цөлөрхөг хээрт мөн тус сард хамгийн дулаан буюу агаарын дундаж температур  $23.1^{\circ}\text{C}$  хүрсэн байна (Зураг 2).



Зураг 1. Судалгаа явуулсан хугацааны мал бэлчээрлэлттэй, бэлчээрлэлтгүй талбайн зураг



**Зураг 2.** Судалгаа явуулсан газрын буюу Мөнгөнморьт (уулын хээр), Түмэнцогт (хуурай хээр) болон Их нартын (цөлөрхөг хээр) 2023 болон 2024 онуудын сарын дундаж агаарын температур (°C), сарын нийлбэр хур тунадасны хэмжээ (мм).

### Навч болон үндэсний үйл ажиллагааны шинж чанарын үзүүлэлт тодорхойлох аргазүй

Бид уулын хээр, хуурай хээр болон цөлөрхөг хээрийн ургамал бүлгэмдэл дэх судалгааны мал бэлчээрлэлттэй, бэлчээрлэлтгүй талбай тус бүрээс зонхилгч 5-16 зүйл ургамлыг сонгон авч, ургамал тус бүрийн навч, нарийн ширхэгт үндэсний үйл ажиллагааны дараах шинж чанарын үзүүлэлтүүдийг тус тус тодорхойлсон (Хүснэгт 1). Үүнд:

- Ургамал тус бүрийн өндөр (Height, см)
- Навчны зузаан (LT, мм)
- Навчны харьцангуй талбайн хэмжээ (SLA, см<sup>2</sup> г<sup>-1</sup>)
- Навчны хуурай бодисын агууламж (LDMC, г г<sup>-1</sup>)
- Үндэсний харьцангуй урт (SRL, см г<sup>-1</sup>)
- Үндэсний хуурай бодисын агууламж (RDMC, г г<sup>-1</sup>)
- Навч болон үндэсний фосфор (P, %), азот (N, %), нүүрстөрөгч (C, %) -ийн агууламж, мөн нүүрстөрөгч болон азотын харьцаа (C: N ratio)

**Хүснэгт 1.** Навч болон үндэсний үйл ажиллагааны шинж чанарын хэмжилт хийсэн бүлгэмдлийн зонхилгч зүйл ургамлуудын жагсаалт

	Уулын хээр	Хуурай хээр	Цөлөрхөг хээр
1	<i>Adenophora stenanthina</i>	1 <i>Artemisia frigida</i>	1 <i>Allium polyrrhizum</i>
2	<i>Agropyron cristatum</i>	2 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	2 <i>Artemisia frigida</i>
3	<i>Artemisia dracunculus</i>	3 <i>Leymus chinensis</i>	3 <i>Carex duriuscula</i>

4	<i>Artemisia frigida</i>	4	<i>Potentilla acaulis</i>	4	<i>Convolvulus ammannii</i>
5	<i>Aster alpinus</i>	5	<i>Serratula centauroides</i>	5	<i>Stipa gobica</i>
6	<i>Bupleurum bicaule</i>	6	<i>Stipa grandis</i>		
7	<i>Carex pediformis</i>				
8	<i>Carex duriuscula</i>				
9	<i>Chryzanthemum zawadsky</i>				
10	<i>Festuca lenensis</i>				
11	<i>Gypsophilla dahurica</i>				
12	<i>Koeleria macrantha</i>				
13	<i>Leontopodium ochroleucum</i>				
14	<i>Leymus chinensis</i>				
15	<i>Potentilla fruticosa</i>				
16	<i>Sanguisorba officinalis</i>				
17	<i>Scabosia comosa</i>				
18	<i>Stellera chamaejasme</i>				
19	<i>Stipa baicalensis</i>				

Бид уулын хээрийн бүлгэмдлийн талбай тус бүрээс зонхилогч 10-12 зүйл ургамал нийт 19 зүйлийн 228 дээж (19 зүйл ургамал х 3 давталттай х 2 талбай х 2 жил), хуурай хээрийн талбай тус бүрээс 6 зүйлийн нийт 72 дээж (6 зүйл ургамал х 3 давталттай х 2 талбай х 2 жил) мөн цөлөрхөг хээрийн талбай тус бүрээс 5 зүйлийн нийт 60 дээж (5 зүйл ургамал х 3 давталттай х 2 талбай 2 жил) дээр үйл ажиллагааны шинж чанарын үзүүлэлтүүдийг тодорхойлсон.

Ургамлын навчны зузааныг хэмжихдээ судалгааны талбай тус бүрээс ургамлын зүйлийн 5 бодгаль цуглуулж, бодгаль тус бүрээс 5-8 ширхэг навч авч, калифер багаж ашиглан хэмжсэн. Навчны хуурай бодисын агууламжийг тодорхойлоходоо 5 бодгаль тус бүрийн бүх навчийг авч 1 хоног усанд дэвтээж хонуулаад усаар ханасан жинг хэмжиж, хатаах шүүгээнд 65°C 48 цаг хатааж хуурай жинг хэмжээд, хуурай болон нойтон жингийн харьцаагаар тодорхойлсон (María T et al., 2012). Навчны талбайн хэмжээ тодорхойлохын тулд ургамлын зүйлийн бодгаль тус бүрээс 10-15 ширхэг навчийг цуглуулж сканердсан. Сканердсан навчийг мөн адил хатаах шүүгээнд 65°C 48 цаг хатааж хуурай жинг хэмжсэн. Сканердсан зургийг ImageJ 1.42q программд оруулан навчны талбайг хэмжин навчны талбайн хэмжээ/навчны хуурай жингийн харьцаагаар навчны харьцангуй талбайн хэмжээг (SLA) тодорхойлсон (Pérez-Harguindeguy et al., 2013; Vile et al., 2005). Үндэсний уртыг хэмжихийн тулд навчны хэмжилт хийсэн бүх ургамлын 2 мм-ээс бага диаметртэй үндсийг үндэсний системээс салган авч угааж, цэвэрлээд сканердан ImageJ 1.42q программд оруулан бодсон. Сканердсан бүх дээжийн анхны жинг хэмжин хатаах шүүгээнд 65°C-д 48 цаг хатааж хуурай жинг хэмжин анхны жинтэй харьцуулж үндэсний хуурай бодисын агууламжийг тодорхойлсон (María T et al., 2012).

## Навч, үндэс болон хөрсний макро-элементийн агууламж тодорхойлох аргагүй

ШУА-ийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэнгийн Ургамалжлын экологийн салбарын “Ургамалжлын урт хугацааны мониторинг судалгааны нэгдсэн арга зүй, 2019” дэх химийн шинжилгээний аргазүйгээр ургамал болон хөрсний макро-элементийн шинжилгээг хийсэн. Ургамлын навч болон үндэсний нүүрстөрөгч (C), азот (N), фосфорын (P) хэмжээг тодорхойлохын тулд 3 давталттай дээж зүйл тус бүр дээр 2 жилийн хугацаанд тус бүр цуглуулж лабораторид шинжлүүлсэн. Мөн судалгааны бэлчээрлэлтгүй, бэлчээрлэлттэй талбай тус бүрээс 4 см-ийн диаметртэй кор ашиглан хөрсний 0-10, 10-30 см гүнээс дээж авч лабораторид шилжүүлсэн. Хөрс болон ургамлын хатаасан дээжид азотын (N) агууламжийг шатаах, нэрэх, титрлэх гэсэн 3 үндсэн аргаар явуулсан бөгөөд зэсийн хурдасгуурын тусламжтайгаар концентрацитай хүхрийн хүчилд дээжээ уусган, үүссэн аммонийг натрийн шүлтэд уусгаж аваад, давсны хүчлээр титрлэх зарчмаар KDN-812 Кьелдалийн аппаратаар тодорхойлов. Органик нүүрстөрөгчийг (C) калийн перманганатаар титрлэх зарчмаар Walkley Black-ийн аргаар, фосфорыг (P) спектрофотометрийн аргаар буюу UV-XX05 спектрофотометрын багажаар натрийн шүлт, гидрохинон, карбонат-сульфитын хольц зэргийг нэмсний дараагаар 750 нм гэрлийн шингээлтийг хэмжих зарчмаар тодорхойлдог ба хөдөлгөөнт фосфорын агууламжийг тодорхойлохдоо фосфорын нэгдлээр урьдчилан байгуулсан жиших муруйг ашиглан UV-XX05 спектрофотометрын багажит анализын аргаар тус тус тодорхойлсон.

## Статистик анализ

Цуглуулсан мэдээллийн статистик анализыг R программ (v4.4.0, R core team, 2025) ашиглан хийв. Tukey HSD tests-ээр ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанарын үзүүлэлтүүд, ургамлын навч болон үндэсний химийн шинж чанар мөн хөрсний химийн шинж чанарын үзүүлэлтүүдийг бэлчээрлэлттэй, бэлчээрлэлтгүй талбай хоорондын ялгаатай байдлыг шалгасан (“aov” function, Chambers and Hastie, 1990). Харин гурван хүчин зүйлт вариацийн анализаар (three-way ANOVA) гурван бүлгэмдэл, бэлчээрлэлттэй, бэлчээрлэлтгүй талбай, судалгаа явуулсан хугацааны нөлөөлөл болон ялгаатай байдлыг ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанарын үзүүлэлт дээр бодов (“aov” function, Chambers and Hastie, 1990). Нэг хүчин зүйлт вариацийн анализ (One-way ANOVA) болон Tukey HSD test – зүйл тус бүрийн туршилтын хугацаа хоорондын ялгаатай байдлыг шалгасан. Бүлгэмдлийн жигнэсэн дундаж утга (CWM) нь тухайн бүлгэмдэлд байгаа арвийг харгалзан бүлгэмдлийн шинж чанарын утгыг тооцоолох ашигтай арга юм (David, 2018). Тиймээс бид дараах томъёогоор ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанарын бүлгэмдлийн жигнэгдсэн дундаж утгыг тооцохдоо тухайн бүлгэмдэлд тохиолдох зонхилогч зүйлийн үйл ажиллагааны шинж чанарын утгыг тухайн бүлгэмдэлд байгаа арвиар нь үржүүлж, эдгээр утгыг нэмж, дараа нь зүйлийн арвийн утгын нийлбэрт хуваах замаар тооцоолсон (CWM SLA, CWM LDMC, CWM thickness, CWM height, CWM RDMC, CWM root length; Garnier et al., 2007).

$$CWM = \sum_{i=1}^n (p_i \cdot t_i)$$

Энд:  $p_i$  = бүлгэмдэл дэх зүйлийн ( $i$ ) харьцангуй арви;  $t_i$  = зүйлийн ( $i$ ) үйл ажиллагааны шинж чанарын утга;  $n$  = бүлгэмдэл дэх нийт зүйлийн тоо.

Бид бүтцийн тэгшитгэлийн загварчлалын аргаар (structural equation modeling SEM) ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанарт уур амьсгалын хүчин зүйлс, хөрсний химийн шинж чанар болон бэлчээрлэлтийн шууд болон шууд бус нөлөөллийг тодорхойлсон. SEM анализыг SPSS 22 AMOS 26 статистикийн программ ашиглан тооцоолов.

### Судалгааны үр дүн

#### Гурван ургамал бүлгэмдлийн ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар

Ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанарын үзүүлэлтүүдийн судалгаа явуулсан жил, гурван ургамал бүлгэмдэл болон судалгааны талбай хоорондын ялгаатай байдлыг гурван хүчин зүйлт вариацийн анализаар (three-way ANOVA) шалгаж үзэхэд бүгд судалгааны хугацаа хооронд статистикийн ач холбогдолтой ялгаатай ( $p < 0.001$ ), харин навчны талбайн хэмжээ болон навчны зузаан нь ургамал бүлгэмдэл хооронд, навчны зузаан судалгааны талбай хооронд ялгаатай байна ( $p < 0.001$ ; Хүснэгт 2).

**Хүснэгт 2.** 2023-2024 онуудын гурван ургамал бүлгэмдлийн ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанарт судалгаа явуулсан жил, ургамал бүлгэмдэл, бэлчээрлэлт болон тэдгээрийн харилцан үйлчлэлийн нөлөөллийг шалгасан гурван хүчин зүйлт вариацийн анализ-ын үр дүн

	DF	LDMC		SLA		LT		RDMC		SRL	
		F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>
Судалгааны жил (Ж)	1	<b>21.72</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>357.21</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>7.61</b>	<b>0.006</b>	<b>24.45</b>	<b>&lt;0.001</b>		
Ургамал бүлгэмдэл (УБ)	2	0.53	0.586	<b>147.96</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>16.37</b>	<b>&lt;0.001</b>	2.89	0.102	<b>37.05</b>	<b>&lt;0.001</b>
Бэлчээрлэлт (Б)	1	0.08	0.777	2.34	0.126	<b>18.12</b>	<b>&lt;0.001</b>	0.59	0.444	2.57	0.110
Ж×УБ	2	4.02	0.018	<b>118.4</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>3.63</b>	<b>0.027</b>	1.72	0.180		
Ж×Б	1	0.00	0.975	0.01	0.913	0.00	0.985	1.24	0.266		
УБ×Б	2	0.28	0.754	0.09	0.908	<b>8.84</b>	<b>&lt;0.001</b>	2.40	0.092	0.04	0.961
Ж×УБ×Б	2	1.10	0.332	1.50	0.225	0.38	0.683	0.89	0.411		

Уулын хээр, хуурай хээр болон цөлөрхөг хээрийн ургамал бүлгэмдлийн зонхилогч зүйл ургамлуудын үйл ажиллагааны шинж чанарыг бэлчээрлэлттэй болон бэлчээрлэлтгүй талбай тус бүрээс хэмжиж үзэхэд уулын хээрийн бүлгэмдлийн ургамлуудын навчны талбайн хэмжээ хамгийн өндөр (58.04 –168.15), хуурай хээр болон цөлөрхөг хээрийн бүлгэмдэл харьцангуй бага байна (4.44 –101.05; Хүснэгт 3). Гурван бүлгэмдлийн навчны хуурай бодисын агууламж (0.4-0.6), навчны зузаан (0.1-0.3) болон үндэсний хуурай бодисын агууламж (0.4-0.6) харьцангуй ижил байна (Хүснэгт 3; Зураг 12b, d, f). Харин үндэсний ургын хэмжээ бүлгэмдэл хооронд ялгаатай ( $p < 0.001$ ) бөгөөд хуурай хээрийн бүлгэмдлийн үндэсний урт бусад хоёр бүлгэмдлээс харьцангуй их байна (Хүснэгт 2, 3). Зүйл хооронд харьцуулж үзэхэд уулын хээрийн бүлгэмдлийн *Leontopodium ochroleucum* ургамлын навчны талбайн хэмжээ хамгийн өндөр, *Sanguisorba officinalis* ургамал хамгийн бага байна.

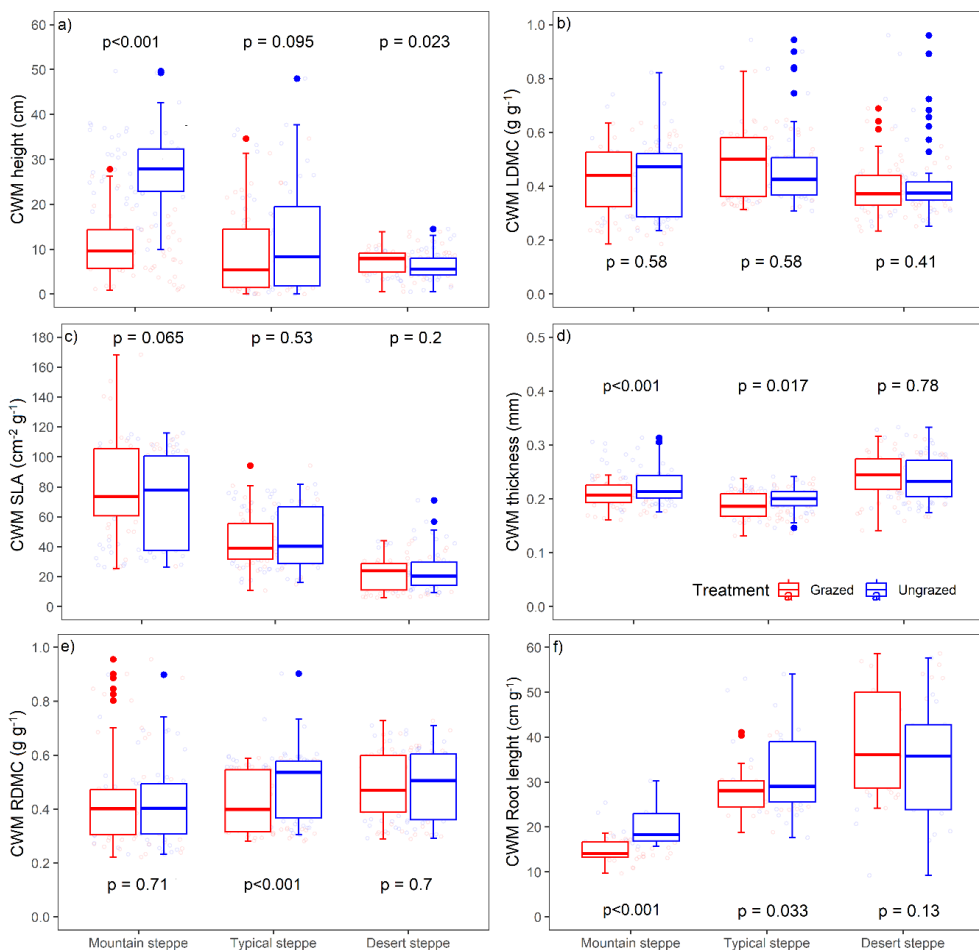
**Хүснэгт 3.** Хээрийн гурван ургамал бүлгэмдлийн зонхилогч зүйл ургамлуудын үйл ажиллагааны шинж чанарын үзүүлэлт бэлчээрлэлттэй, бэлчээрлэлтгүй талбай тус бүрээр (дундаж  $\pm$  стандарт алдаа)

Ургамал бүлгэмдэл	Судалгааны талбай	Зүйлийн латин нэр	Навчны хуурай бодисын агууламж (LDMC, г г-1)		Навчны талбайн хэмжээ (SLA, см-2 г-1)		Навчны зузаан (Leaf thickness, мм)		Үндэсний хуурай бодисын агууламж (RDMC, г г-1)		Үндэсний урт (Root length, см г-1)
			2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2024
Уулын хээр	Бэлчээрлэлттэй	<i>Agropyron cristatum</i> (L.) Gaertner	0.53 $\pm$ 0.07	0.37 $\pm$ 0.16	78.79 $\pm$ 11.17	64.60 $\pm$ 20.96	0.28 $\pm$ 0.01	0.22 $\pm$ 0.00	0.52 $\pm$ 0.09	0.32 $\pm$ 0.03	35.55 $\pm$ 2.96
		<i>Artemisia dracunculula</i> L.	0.36 $\pm$ 0.04	0.23 $\pm$ 0.02	117.21 $\pm$ 16.62	12.08 $\pm$ 3.42	0.20 $\pm$ 0.01	0.22 $\pm$ 0.02	0.45 $\pm$ 0.11	0.21 $\pm$ 0.03	10.75 $\pm$ 1.19
		<i>Artemisia frigida</i> Willd.	0.46 $\pm$ 0.05	0.20 $\pm$ 0.02	80.64 $\pm$ 3.31	3.89 $\pm$ 0.66	0.28 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.03	0.40 $\pm$ 0.06	0.26 $\pm$ 0.06	14.74 $\pm$ 2.25
		<i>Carex duriuscula</i> C.A. Mey.	0.54 $\pm$ 0.04	0.38 $\pm$ 0.06	98.35 $\pm$ 13.15	6.18 $\pm$ 2.01	0.19 $\pm$ 0.02	0.15 $\pm$ 0.01	0.43 $\pm$ 0.02	0.25 $\pm$ 0.08	12.15 $\pm$ 2.96
		<i>Festuca lenensis</i> Drobov	0.55 $\pm$ 0.10	0.30 $\pm$ 0.03	141.28 $\pm$ 32.94	5.26 $\pm$ 1.65	0.16 $\pm$ 0.01	0.18 $\pm$ 0.02	0.44 $\pm$ 0.08	0.39 $\pm$ 0.07	23.02 $\pm$ 2.96
		<i>Koeleria macrantha</i> (Ledeb.) Schult.	0.59 $\pm$ 0.10	0.82 $\pm$ 0.36	86.08 $\pm$ 13.44	16.13 $\pm$ 10.33	0.17 $\pm$ 0.01	0.22 $\pm$ 0.02	1.19 $\pm$ 0.61	0.33 $\pm$ 0.05	17.23 $\pm$ 1.93
		<i>Leontopodium ochroleucum</i> Beauverd	0.51 $\pm$ 0.05	0.20 $\pm$ 0.02	158.73 $\pm$ 16.57	12.00 $\pm$ 2.80	0.17 $\pm$ 0.01	0.23 $\pm$ 0.01	0.39 $\pm$ 0.03	0.29 $\pm$ 0.04	16.02 $\pm$ 2.17
		<i>Leymus chinensis</i> (Trin.) Tzvelev	0.52 $\pm$ 0.16	0.29 $\pm$ 0.06	89.75 $\pm$ 35.51	16.89 $\pm$ 2.35	0.26 $\pm$ 0.09	0.19 $\pm$ 0.00	0.49 $\pm$ 0.02	0.28 $\pm$ 0.01	9.37 $\pm$ 2.79
		<i>Potentilla acaulis</i> L.	0.54 $\pm$ 0.11	0.19 $\pm$ 0.01	114.20 $\pm$ 7.55	7.71 $\pm$ 1.16	0.21 $\pm$ 0.00	0.23 $\pm$ 0.01	0.49 $\pm$ 0.06	0.29 $\pm$ 0.05	12.43 $\pm$ 1.99
		<i>Potentilla fruticosa</i> L.	0.67 $\pm$ 0.03	0.41 $\pm$ 0.17	82.43 $\pm$ 7.26	11.82 $\pm$ 3.67	0.24 $\pm$ 0.02	0.25 $\pm$ 0.01	0.61 $\pm$ 0.02	0.82 $\pm$ 0.35	14.78 $\pm$ 3.32
		<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	0.51 $\pm$ 0.02	0.20 $\pm$ 0.04	62.32 $\pm$ 8.62	86.79 $\pm$ 24.25	0.20 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.01	0.50 $\pm$ 0.01	0.39 $\pm$ 0.04	26.28 $\pm$ 3.46
<i>Stellera chamaejasme</i> L.	0.35 $\pm$ 0.02	0.22 $\pm$ 0.01	136.24 $\pm$ 15.32	4.21 $\pm$ 0.35	0.22 $\pm$ 0.01	0.24 $\pm$ 0.01	0.41 $\pm$ 0.02	0.31 $\pm$ 0.03	9.98 $\pm$ 3.02		

Хуурай хээр	Бэлгэрлэггүй	<i>Adenophora stenanthina</i> (Ledeb.) Kitag.	0.26 ± 0.09	0.17 ± 0.02	168.15 ± 29.63	5.91 ± 1.77	0.26 ± 0.02	0.25 ± 0.01	0.46 ± 0.02	0.25 ± 0.01	8.24 ± 0.98
		<i>Aster alpinus</i> L.	0.35 ± 0.03	0.16 ± 0.01	126.11 ± 11.61	14.70 ± 2.36	0.28 ± 0.03	0.28 ± 0.02	0.50 ± 0.02	0.22 ± 0.03	20.01 ± 1.28
		<i>Bupleurum bicaule</i> Helm.	0.45 ± 0.05	0.30 ± 0.02	103.39 ± 12.93	58.39 ± 3.32	0.21 ± 0.01	0.22 ± 0.00	1.02 ± 0.60	0.30 ± 0.02	15.61 ± 2.11
		<i>Chrysanthemum zawadzki</i> Herbich.	0.24 ± 0.01	0.13 ± 0.01	150.69 ± 4.74	38.40 ± 24.15	0.27 ± 0.01	0.39 ± 0.04	0.39 ± 0.02	0.22 ± 0.02	13.50 ± 4.67
		<i>Festuca lenensis</i> Drobov	2.15 ± 1.61	0.40 ± 0.05	58.69 ± 26.80	29.19 ± 6.66	0.19 ± 0.01	0.17 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.42 ± 0.10	38.31 ± 3.59
		<i>Gypsophilla dahurica</i> Turcz. ex Fenzl	0.17 ± 0.01	0.13 ± 0.01	110.84 ± 9.45	16.39 ± 5.82	0.61 ± 0.02	0.48 ± 0.02	0.42 ± 0.01	0.91 ± 0.54	9.60 ± 2.35
		<i>Koeleria macrantha</i> (Ledeb.) Schult.	0.49 ± 0.03	0.28 ± 0.02	88.32 ± 12.83	16.09 ± 7.24	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.31 ± 0.05	0.29 ± 0.08	21.26 ± 3.92
		<i>Leontopodium ochroleucum</i> Beauverd	0.46 ± 0.08	0.87 ± 0.63	148.18 ± 25.04	10.32 ± 2.20	0.19 ± 0.03	0.23 ± 0.01	0.50 ± 0.03	0.38 ± 0.06	14.22 ± 0.61
		<i>Leymus chinensis</i> (Trin.) Tzvelev	0.57 ± 0.04	0.48 ± 0.04	58.04 ± 20.77	33.90 ± 9.65	0.37 ± 0.06	0.30 ± 0.02	0.36 ± 0.10	0.41 ± 0.01	20.59 ± 1.57
	<i>Potentilla fruticosa</i> L.	0.56 ± 0.07	0.19 ± 0.01	70.54 ± 13.99	10.03 ± 3.54	0.27 ± 0.02	0.26 ± 0.02	0.58 ± 0.03	0.37 ± 0.07	20.48 ± 4.78	
	<i>Scabosia comosa</i> Fisch. ex Reom. & Schult	0.36 ± 0.06	0.12 ± 0.01	103.36 ± 16.63	44.47 ± 13.27	0.30 ± 0.02	0.40 ± 0.03	0.45 ± 0.02	0.23 ± 0.02	11.84 ± 2.12	
	<i>Stellera chamaejasme</i> L.	0.36 ± 0.06	0.23 ± 0.02	133.26 ± 22.43	23.36 ± 10.94	0.23 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.29 ± 0.07	18.79 ± 1.63	
	<i>Stipa baicalensis</i> Roshev.	0.65 ± 0.05	0.40 ± 0.01	90.31 ± 21.39	18.92 ± 2.38	0.22 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.40 ± 0.04	0.37 ± 0.06	33.83 ± 3.15	
	Бэлгэрлэгдэжээгүй	<i>Artemisia frigida</i> Willd.	0.40 ± 0.04	0.23 ± 0.01	6.22 ± 2.24	5.57 ± 1.13	0.21 ± 0.00	0.14 ± 0.01	0.55 ± 0.03	0.40 ± 0.03	38.91 ± 2.92
		<i>Cleistogenes squarrosa</i> (Trin.) Keng	0.50 ± 0.01	0.63 ± 0.29	14.61 ± 1.65	6.83 ± 0.88	0.10 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.48 ± 0.02	0.27 ± 0.03	44.96 ± 5.95
		<i>Leymus chinensis</i> (Trin.) Tzvelev	0.53 ± 0.06	0.39 ± 0.03	66.32 ± 6.28	37.53 ± 5.00	0.23 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.31 ± 0.01	18.97 ± 1.60
		<i>Serratula centauroides</i> L.	0.39 ± 0.04	0.23 ± 0.02	33.44 ± 3.11	34.49 ± 4.40	0.33 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.53 ± 0.02	0.35 ± 0.04	17.35 ± 1.42
		<i>Stipa grandis</i> P.A. Smirn.	0.59 ± 0.02	0.41 ± 0.03	15.78 ± 1.49	5.66 ± 1.04	0.24 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.55 ± 0.03	0.35 ± 0.02	31.86 ± 3.46
		<i>Artemisia frigida</i> Willd.	0.44 ± 0.04	0.29 ± 0.04	4.44 ± 0.50	6.02 ± 1.08	0.20 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.59 ± 0.04	0.43 ± 0.03	46.89 ± 2.55
<i>Cleistogenes squarrosa</i> (Trin.) Keng		0.82 ± 0.32	0.34 ± 0.04	11.20 ± 2.27	16.14 ± 8.90	0.10 ± 0.00	0.09 ± 0.00	0.48 ± 0.02	0.31 ± 0.01	56.62 ± 5.99	
<i>Leymus chinensis</i> (Trin.) Tzvelev		0.47 ± 0.01	0.41 ± 0.01	58.70 ± 7.83	35.20 ± 5.61	0.23 ± 0.01	0.23 ± 0.00	0.60 ± 0.03	0.30 ± 0.01	19.00 ± 2.11	
<i>Potentilla acaulis</i> L.		0.49 ± 0.01	0.16 ± 0.00	101.05 ± 4.47	28.63 ± 5.87	0.29 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.52 ± 0.03	1.31 ± 0.99	26.43 ± 5.43	
<i>Serratula centauroides</i> L.	0.34 ± 0.01	0.24 ± 0.01	49.64 ± 7.05	34.96 ± 3.81	0.32 ± 0.01	0.30 ± 0.01	0.60 ± 0.02	0.81 ± 0.36	21.67 ± 1.43		
<i>Stipa grandis</i> P.A. Smirn.	0.58 ± 0.01	0.41 ± 0.02	19.13 ± 2.24	4.36 ± 0.56	0.25 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.56 ± 0.04	0.74 ± 0.43	28.94 ± 2.31		

Цөлөрхөг хээр	Бэлчээрлэлтгүй	<i>Allium polyrrhizum</i> Turcz. ex Regel	0.21 ± 0.01	0.37 ± 0.19	18.37 ± 3.05	20.41 ± 5.01	0.34 ± 0.01	0.30 ± 0.02	0.53 ± 0.03	0.36 ± 0.02	47.44 ± 3.31
		<i>Artemisia frigida</i> Willd.	0.44 ± 0.03	0.44 ± 0.04	18.50 ± 7.05	6.88 ± 0.79	0.23 ± 0.01	0.15 ± 0.02	0.65 ± 0.03	0.40 ± 0.05	40.39 ± 6.33
		<i>Convolvulus</i> <i>ammannii</i> Desr.	0.46 ± 0.02	0.21 ± 0.01	7.10 ± 0.99	12.06 ± 2.47	0.22 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.71 ± 0.03	0.28 ± 0.02	9.53 ± 0.91
		<i>Stipa gobica</i> (Roshev.) D.F. Cui	0.61 ± 0.02	0.49 ± 0.02	7.60 ± 0.62	13.04 ± 1.49	0.22 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.59 ± 0.04	0.38 ± 0.03	42.76 ± 1.52
		<i>Allium polyrrhizum</i> Turcz. ex Regel	0.20 ± 0.00	0.19 ± 0.00	16.06 ± 3.41	15.69 ± 2.67	0.36 ± 0.01	0.30 ± 0.03	0.58 ± 0.02	0.27 ± 0.03	65.68 ± 5.96
	Бэлчээрлэлтгүй	<i>Artemisia frigida</i> Willd.	0.40 ± 0.01	0.89 ± 0.40	60.91 ± 20.09	4.20 ± 0.61	0.24 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.64 ± 0.03	0.49 ± 0.02	37.08 ± 5.16
		<i>Carex duriuscula</i> C.A. Mey.	0.51 ± 0.02	0.41 ± 0.01	10.99 ± 1.54	26.71 ± 6.28	0.20 ± 0.00	0.20 ± 0.02	0.51 ± 0.02	0.42 ± 0.02	5.45 ± 0.73
		<i>Convolvulus</i> <i>ammannii</i> Desr.	0.38 ± 0.04	0.26 ± 0.02	13.33 ± 4.68	10.12 ± 0.77	0.20 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.72 ± 0.03	0.27 ± 0.01	6.91 ± 0.42
		<i>Stipa gobica</i> (Roshev.) D.F. Cui	0.59 ± 0.04	0.61 ± 0.04	11.03 ± 1.45	9.37 ± 0.70	0.20 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.53 ± 0.03	0.45 ± 0.04	61.48 ± 7.13

Гурван ургамал бүлгэмдлийн ургамлын жигнэсэн дундаж үйл ажиллагааны шинж чанарыг харьцуулж үзэхэд уулын хээрийн бүлгэмдлийн ургамлын өндөр, навчны зузаан болон үндэсний урт нь судалгааны талбай хооронд статистикийн хувьд ач холбогдолтой ялгаатай буюу бэлчээрлэлтгүй талбайд харьцангуй өндөр байна ( $p < 0.001$ ; Зураг 3a, d, f). Хуурай хээрийн бүлгэмдлийн навчны зузаан, үрдэсний хуурай бодисын агууламж болон үндэсний урт нь судалгааны талбай хооронд ялгаатай буюу бэлчээрлэлтгүй талбайд харьцангуй өндөр байна ( $p = 0.02 - < 0.001$ ; Зураг 3d, e, f). Харин цөлөрхөг хээрийн ургамал бүлгэмдлийн ургамлын өндөр судалгааны талбай хооронд ялгаатай бол бусад үйл ажиллагааны шинж чанар судалгааны талбай хооронд ялгаа илрээгүй. Ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанарыг ургамал бүлгэмдэл хооронд харьцуулж үзэхэд ургамлын навчны талбайн хэмжээ уулын хээрт харьцангуй өндөр бөгөөд хуурай хээр, цөлөрхөг хээрт харьцангуй бага байсан бол харин үндэсний урт үүний эсрэг үзүүлэлттэй байна (Зураг 3c, f).



**Зураг 3.** Уулын хээр (Mountain steppe), хуурай хээр (Typical steppe) болон цөлөрхөг хээрийн (Desert steppe) ургамал бүлгэмдлийн жигнэгдсэн дундаж үйл ажиллагааны шинж чанарын утгуудыг бэлчээрлэлттэй (Grazed), бэлчээрлэлтгүй (Ungrazed) талбай тус бүрээр. Р утга талбай хоорондын ялгаатай байдлыг илтгэнэ ( $p < 0.05$ )

\*CWM height – бүлгэмдлийн жигнэгдсэн дундаж өндөр, CWM LDMC – бүлгэмдлийн жигнэгдсэн дундаж навчны хуурай бодисын агууламж, CWM SLA – бүлгэмдлийн жигнэгдсэн дундаж навчны харьцангуй талбайн хэмжээ, CWM thickness – бүлгэмдлийн жигнэгдсэн дундаж навчны зузаан, CWM RDMC – бүлгэмдлийн жигнэгдсэн дундаж үндэсний хуурай бодисын агууламж, CWM root length – бүлгэмдлийн жигнэгдсэн дундаж үндэсний урт

### Гурван ургамал бүлгэмдлийн ургамал болон хөрсний химийн шинж чанар

Гурван ургамал бүлгэмдлийн зонхилогч зүйл ургамлуудын навчны макро-элементүүдийн агууламжийг зүйл хооронд харьцуулж үзэхэд фосфорын агууламж *Aster alpinus* хамгийн өндөр буюу  $0.72 \pm 0.00$ , *Stipa baicalensis*

хамгийн бага буюу  $0.08 \pm 0.00$ , азотын агууламж *Allium plorhizum* хамгийн өндөр буюу  $0.85 \pm 0.03$ , *Carex pediformis* хамгийн бага буюу  $0.05 \pm 0.00$ , харин нүүрстөрөгчийн агууламж *Potentilla fruticosa* хамгийн их буюу  $5.10 \pm 0.06$ , *Stipa baicalensis* хамгийн бага буюу  $1.98 \pm 0.09$  тус тус байна (Хүснэгт 4). Үндэсний хувьд фосфорын агууламж *Carex pediformis*  $0.94 \pm 0.01$  хамгийн их, *Leymus chinensis*  $0.06 \pm 0.00$  хамгийн бага, азотын агууламж *Stipa grandis*  $0.57 \pm 0.00$  хамгийн их, *Potentilla fruticosa*  $0.08 \pm 0.00$  хамгийн бага, харин нүүрстөрөгчийн агууламж *Leontopodium ochroleucum*  $4.99 \pm 0.05$  хамгийн их, *Carex duriuscula*  $2.16 \pm 0.06$  хамгийн бага тус тус байна (Хүснэгт 4).

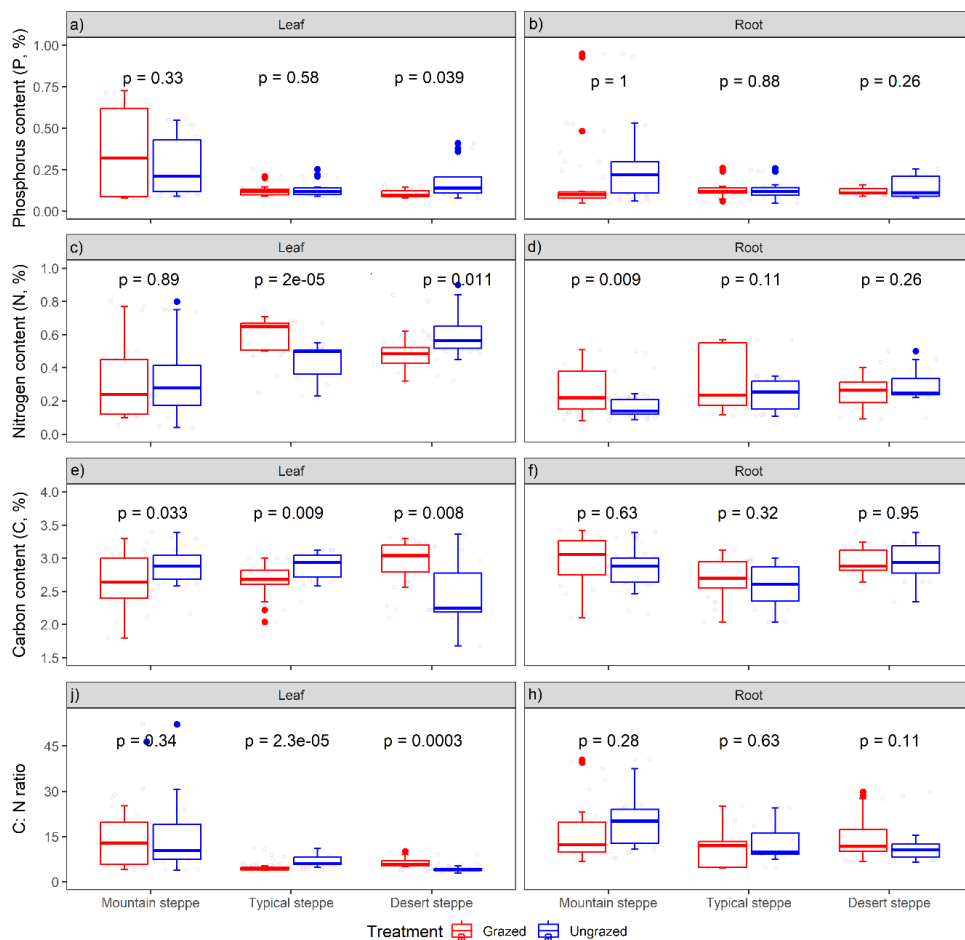
**Хүснэгт 4.** Хээрийн гурван ургамал бүлгэмдлийн зонхилогч зүйл ургамлуудын навч болон үндэсний макро-элементийн агууламж (дундаж  $\pm$  стандарт алдаа)

Ургамал бүлгэмдэл	Судалгааны талбай	Ургамлын эрхтэн	Зүйлийн латин нэр	Фосфор (P, %)	Азот (N, %)	Нүүрстөрөгч (C, %)	C: N харьцаа
Уулын хээр	Бэлчээрлэгтэй	Навч	<i>Aster alpinus</i>	$0.72 \pm 0.00$	$0.75 \pm 0.01$	$3.11 \pm 0.06$	$4.13 \pm 0.09$
			<i>Carex pediformis</i>	$0.54 \pm 0.01$	$0.11 \pm 0.01$	$2.31 \pm 0.07$	$20.95 \pm 0.65$
			<i>Potentilla fruticosa</i>	$0.33 \pm 0.01$	$0.24 \pm 0.01$	$3.16 \pm 0.07$	$13.10 \pm 0.56$
			<i>Leontopodium ochroleucum</i>	$0.63 \pm 0.00$	$0.20 \pm 0.00$	$2.65 \pm 0.03$	$13.18 \pm 0.16$
			<i>Potentilla acaulis</i>	$0.09 \pm 0.00$	$0.10 \pm 0.00$	$2.55 \pm 0.03$	$24.61 \pm 0.45$
			<i>Stellaria chamajasma</i>	$0.09 \pm 0.00$	$0.47 \pm 0.02$	$2.83 \pm 0.07$	$6.03 \pm 0.22$
		<i>Stipa baicalensis</i>	$0.08 \pm 0.00$	$0.31 \pm 0.00$	$1.98 \pm 0.09$	$6.46 \pm 0.33$	
		Үндэс	<i>Aster alpinus</i>	$0.11 \pm 0.00$	$0.22 \pm 0.00$	$3.23 \pm 0.04$	$14.82 \pm 0.27$
			<i>Carex pediformis</i>	$0.94 \pm 0.01$	$0.40 \pm 0.01$	$3.02 \pm 0.07$	$7.56 \pm 0.36$
			<i>Potentilla fruticosa</i>	$0.06 \pm 0.00$	$0.08 \pm 0.00$	$3.35 \pm 0.04$	$40.17 \pm 0.32$
			<i>Leontopodium ochroleucum</i>	$0.12 \pm 0.00$	$0.50 \pm 0.01$	$4.99 \pm 0.05$	$9.99 \pm 0.05$
			<i>Potentilla acaulis</i>	$0.10 \pm 0.01$	$0.14 \pm 0.01$	$3.02 \pm 0.02$	$21.56 \pm 1.02$
	<i>Stellaria chamajasma</i>		$0.19 \pm 0.14$	$0.22 \pm 0.01$	$2.16 \pm 0.03$	$9.78 \pm 0.20$	
	<i>Stipa baicalensis</i>	$0.08 \pm 0.00$	$0.21 \pm 0.00$	$2.85 \pm 0.24$	$13.34 \pm 1.18$		
	Бэлчээрлэггүй	Навч	<i>Aster alpinus</i>	$0.19 \pm 0.01$	$0.35 \pm 0.00$	$2.75 \pm 0.04$	$7.74 \pm 0.16$
			<i>Carex pediformis</i>	$0.22 \pm 0.01$	$0.05 \pm 0.00$	$2.61 \pm 0.02$	$54.87 \pm 5.81$
			<i>Potentilla fruticosa</i>	$0.11 \pm 0.01$	$0.17 \pm 0.00$	$5.10 \pm 0.06$	$29.22 \pm 0.79$
			<i>Leontopodium ochroleucum</i>	$0.42 \pm 0.02$	$0.18 \pm 0.00$	$2.72 \pm 0.08$	$15.38 \pm 0.44$
			<i>Potentilla acaulis</i>	$0.43 \pm 0.01$	$0.46 \pm 0.02$	$3.31 \pm 0.04$	$7.30 \pm 0.34$
			<i>Stellaria chamajasma</i>	$0.53 \pm 0.01$	$0.77 \pm 0.02$	$3.01 \pm 0.05$	$3.94 \pm 0.02$
		<i>Stipa baicalensis</i>	$0.09 \pm 0.00$	$0.28 \pm 0.00$	$2.97 \pm 0.05$	$10.54 \pm 0.21$	
		Үндэс	<i>Aster alpinus</i>	$0.26 \pm 0.01$	$0.14 \pm 0.01$	$2.89 \pm 0.04$	$20.60 \pm 0.97$
			<i>Carex pediformis</i>	$0.52 \pm 0.00$	$0.21 \pm 0.00$	$2.68 \pm 0.07$	$13.01 \pm 0.55$
			<i>Potentilla fruticosa</i>	$0.11 \pm 0.01$	$0.13 \pm 0.00$	$3.06 \pm 0.03$	$24.11 \pm 0.49$
<i>Leontopodium ochroleucum</i>			$0.32 \pm 0.02$	$0.23 \pm 0.01$	$2.94 \pm 0.03$	$12.70 \pm 0.25$	
<i>Potentilla acaulis</i>			$0.11 \pm 0.01$	$0.22 \pm 0.01$	$2.74 \pm 0.08$	$12.29 \pm 0.84$	
<i>Stellaria chamajasma</i>	$0.22 \pm 0.01$		$0.11 \pm 0.01$	$2.52 \pm 0.03$	$22.91 \pm 1.42$		
<i>Stipa baicalensis</i>	$0.07 \pm 0.00$	$0.10 \pm 0.01$	$3.35 \pm 0.03$	$33.98 \pm 2.01$			

Хуурай хээр	Бэлчээрлэлтгүй	Навч	<i>Caragana microphylla</i>	0.19 ± 0.02	0.66 ± 0.02	2.98 ± 0.02	4.50 ± 0.19	
			<i>Carex duriuscula</i>	0.12 ± 0.00	0.52 ± 0.01	2.67 ± 0.05	5.17 ± 0.04	
			<i>Leymus chinensis</i>	0.11 ± 0.01	0.67 ± 0.00	2.71 ± 0.05	4.02 ± 0.10	
			<i>Potentilla acaulis</i>	0.09 ± 0.00	0.50 ± 0.00	2.20 ± 0.09	4.38 ± 0.19	
			<i>Stipa grandis</i>	0.11 ± 0.01	0.67 ± 0.00	2.71 ± 0.05	4.02 ± 0.10	
		Үндэс	<i>Caragana microphylla</i>	0.13 ± 0.01	0.55 ± 0.00	2.60 ± 0.05	4.73 ± 0.10	
			<i>Carex duriuscula</i>	0.07 ± 0.01	0.18 ± 0.00	2.16 ± 0.06	12.14 ± 0.08	
			<i>Leymus chinensis</i>	0.25 ± 0.01	0.24 ± 0.01	3.02 ± 0.05	12.87 ± 0.68	
			<i>Potentilla acaulis</i>	0.11 ± 0.00	0.13 ± 0.01	2.96 ± 0.02	23.20 ± 1.61	
			<i>Stipa grandis</i>	0.12 ± 0.01	0.57 ± 0.00	2.71 ± 0.05	4.77 ± 0.11	
	Бэлчээрлэлтгүй	Навч	<i>Caragana microphylla</i>	0.12 ± 0.01	0.52 ± 0.02	3.06 ± 0.03	5.92 ± 0.20	
			<i>Carex duriuscula</i>	0.23 ± 0.01	0.49 ± 0.01	2.93 ± 0.02	6.00 ± 0.11	
			<i>Leymus chinensis</i>	0.12 ± 0.01	0.36 ± 0.02	2.94 ± 0.03	8.14 ± 0.32	
			<i>Polygonum divercata</i>	0.09 ± 0.00	0.51 ± 0.01	3.10 ± 0.02	6.07 ± 0.08	
			<i>Serratula centauroides</i>	0.10 ± 0.00	0.52 ± 0.02	2.67 ± 0.05	5.20 ± 0.26	
			<i>Stipa grandis</i>	0.14 ± 0.01	0.26 ± 0.02	2.65 ± 0.04	10.28 ± 0.68	
		Үндэс	<i>Caragana microphylla</i>	0.13 ± 0.01	0.33 ± 0.02	2.68 ± 0.07	8.10 ± 0.65	
			<i>Carex duriuscula</i>	0.25 ± 0.01	0.33 ± 0.01	2.95 ± 0.04	8.97 ± 0.21	
			<i>Leymus chinensis</i>	0.06 ± 0.00	0.14 ± 0.01	2.57 ± 0.16	18.54 ± 3.01	
			<i>Polygonum divercata</i>	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0.00	2.26 ± 0.11	20.02 ± 0.83	
Цөлөрхөг хээр	Бэлчээрлэлтгүй	Навч	<i>Allium polyrrhizum</i>	0.13 ± 0.01	0.59 ± 0.01	3.18 ± 0.03	5.36 ± 0.17	
			<i>Artemisia frigida</i>	0.09 ± 0.00	0.34 ± 0.01	3.22 ± 0.05	9.36 ± 0.38	
			<i>Convolvulus ammanii</i>	0.09 ± 0.00	0.47 ± 0.02	2.87 ± 0.05	6.16 ± 0.12	
			<i>Stipa gobica</i>	0.11 ± 0.01	0.49 ± 0.01	2.63 ± 0.04	5.36 ± 0.02	
			<i>Allium polyrrhizum</i>	0.12 ± 0.01	0.10 ± 0.00	2.79 ± 0.03	28.61 ± 0.65	
	Үндэс	<i>Artemisia frigida</i>	0.10 ± 0.01	0.24 ± 0.01	3.02 ± 0.07	12.77 ± 0.86		
		<i>Convolvulus ammanii</i>	0.10 ± 0.01	0.39 ± 0.00	2.80 ± 0.08	7.14 ± 0.16		
		<i>Stipa gobica</i>	0.15 ± 0.00	0.28 ± 0.01	3.18 ± 0.03	11.48 ± 0.30		
		Бэлчээрлэлтгүй	Навч	<i>Allium polyrrhizum</i>	0.15 ± 0.00	0.85 ± 0.03	3.26 ± 0.05	3.86 ± 0.13
				<i>Artemisia frigida</i>	0.12 ± 0.01	0.58 ± 0.01	2.18 ± 0.28	3.78 ± 0.45
<i>Convolvulus ammanii</i>	0.09 ± 0.01			0.49 ± 0.02	2.31 ± 0.06	4.75 ± 0.31		
<i>Stipa gobica</i>	0.38 ± 0.01			0.56 ± 0.02	2.14 ± 0.04	3.86 ± 0.22		
Үндэс	<i>Allium polyrrhizum</i>			0.24 ± 0.01	0.23 ± 0.01	2.60 ± 0.14	11.33 ± 0.81	
	<i>Artemisia frigida</i>	0.09 ± 0.00	0.28 ± 0.02	2.76 ± 0.06	10.01 ± 0.75			
	<i>Convolvulus ammanii</i>	0.15 ± 0.03	0.46 ± 0.02	3.15 ± 0.05	6.85 ± 0.22			
	<i>Stipa gobica</i>	0.10 ± 0.01	0.24 ± 0.01	3.25 ± 0.08	13.87 ± 0.77			

Гурван ургамал бүлгэмдлийн навч болон үндэсний макро-элементийн агууламжийг дундажлаж харьцуулж үзэхэд уулын хээрийн бүлгэмдлийн навчны фосфор болон азотын агууламж (навч:  $0.32 \pm 0.2 \sim 0.31 \pm 0.2$ ) үндэсний агууламжаас (үндэс:  $0.23 \pm 0.2 \sim 0.21 \pm 0.1$ ) харьцангуй өндөр байна (Зураг 4а, b, c, d). Харин тус бүлгэмдлийн үндэсний нүүрстөрөгчийн агууламж навчны агууламжаас харьцангуй өндөр байна (үндэс:  $3.06 \pm 0.6$ ; навч:  $2.93 \pm 0.7$ ; Зураг 4е, f). Хуурай хээрийн ургамал бүлгэмдлийн хувьд навчны азот, нүүрстөрөгчийн агууламж (навч:  $0.52 \pm 0.1 \sim 2.78 \pm 0.3$ ) үндэсний агууламжаас (үндэс:  $0.28 \pm 0.2 \sim 2.63 \pm 0.3$ ) харьцангуй өндөр болох нь харагдаж байна (Зураг 4а, b, c, d). Цөлөрхөг хээрийн бүлгэмдлийн навчны фосфор болон азотын агууламж (навч:  $0.15 \pm 0.1 \sim 0.55 \pm 0.1$ ) үндэсний агууламжаас (үндэс:  $0.13 \pm 0.1 \sim 0.28 \pm 0.2$ ) харьцангуй өндөр байна (Зураг

4a, b, c, d). Харин тус бүлгэмдлийн үндэсний нүүрстөрөгчийн агууламж навчны агууламжаас харьцангуй өндөр байна (үндэс:  $2.94 \pm 0.3$ ; навч:  $2.72 \pm 0.5$ ; Зураг 4e, f). Харин гурван ургамал бүлгэмдлийн ургамлын макро-элементийн агууламжийг бүлгэмдэл хооронд харьцуулахад уулын хээрийн бүлгэмдлийн ургамлын фосфор, нүүрстөрөгч болон нүүрстөрөгч азотын харьцаа нь бусад хоёр бүлгэмдлээс харьцангуй өндөр харин азотын агууламж бага байна (Зураг 4).

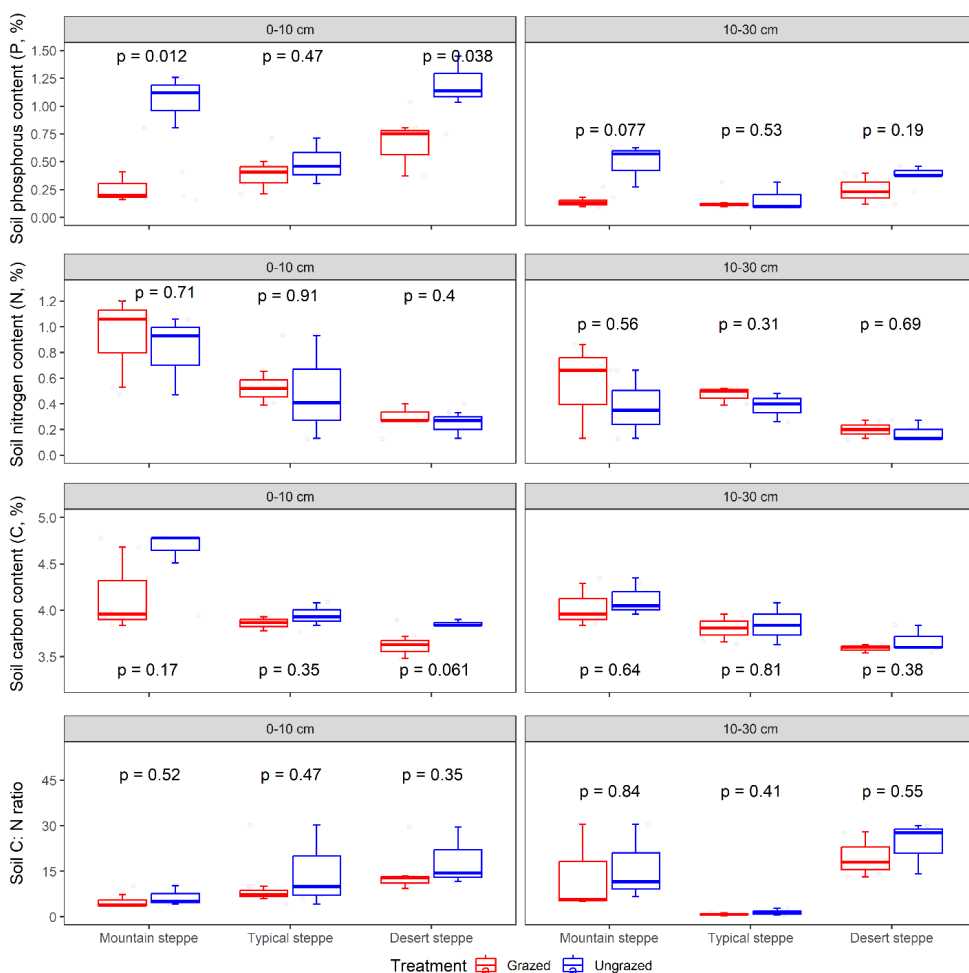


**Зураг 4.** Уулын хээр (Mountain steppe), хуурай хээр (Typical steppe) болон цөлөрхөг хээрийн (Desert steppe) ургамал бүлгэмдлийн ургамлын навч (Leaf) болон үндэсний (Root) фосфор, азот, нүүрстөрөгчийн агууламж мөн нүүрстөрөгч азотын харьцаа бэлчээрлэлттэй (Grazed), бэлчээрлэлтгүй (Ungrazed) талбай тус бүрээр. P утга талбай хоорондын ялгаатай байдлыг илтгэнэ ( $p < 0.05$ )

\*Phosphorus content – фосфорын агууламж, nitrogen content – азотын агууламж, carbon content – нүүрстөрөгчийн агууламж, C: N ratio – нүүрстөрөгч болон азотын харьцаа

Гурван ургамал бүлгэмдлийн хөрсний макро-элементийн агууламжаас харахад бэлчээрлэлттэй болон бэлчээрлэлтгүй талбай хооронд ялгаагүй харагдаж байгаа бөгөөд зөвхөн уулын хээр болон цөлөрхөг хээрийн ургамал

бүлгэмдлийн фосфорын агууламж бэлчээрлэлтгүй талбайд өндөр байлаа ( $p=0.01\sim 0.04$ ; Зураг 5a). Мөн гурван бүлгэмдлийн хөрсний химийн элементийн агууламж 0-10 см гүнд (P: 0.43-0.93; N: 0.28-0.86; C: 3.75-4.43; CN: 5.57-15.21) 10-30 см гүнийхээс (P: 0.14-0.33; N: 0.18-0.45; C: 3.64-4.08; CN: 1.17-21.8) харьцангуй өндөр байна (Зураг 5). Ургамал бүлгэмдэл хооронд харьцуулж үзэхэд хөрсний химийн элементийн агууламж уулын хээрээс хуурай хээр, цөлөрхөг хээр рүү буурсан үзүүлэлттэй байна (Зураг 5).

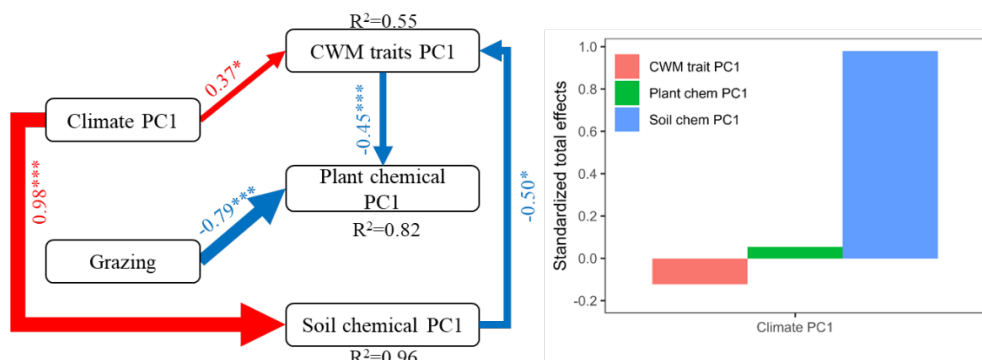


**Зураг 5.** Уулын хээр (Mountain steppe), хуурай хээр (Typical steppe) болон цөлөрхөг хээрийн (Desert steppe) ургамал бүлгэмдлийн хөрсний 0-10 см, 10-30 см гүн дэх фосфор, азот, нүүрстөрөгчийн агууламж болон нүүрстөрөгч, азотын харьцаа бэлчээрлэлттэй (Grazed), бэлчээрлэлтгүй (Ungrazed) талбай тус бүрээр. P утга талбай хоорондын ялгаатай байдлыг илтгэнэ ( $p<0.05$ )

\*Soil phosphorus content – хөрсний фосфорын агууламж, Soil nitrogen content – хөрсний азотын агууламж, Soil carbon content – хөрсний нүүрстөрөгчийн агууламж, Soil C: N ratio – хөрсний нүүрстөрөгч болон азотын харьцаа

## Ургамал болон хөрсний шинж чанарт уур амьсгалын хүчин зүйл болон бэлчээрлэлтийн нөлөө

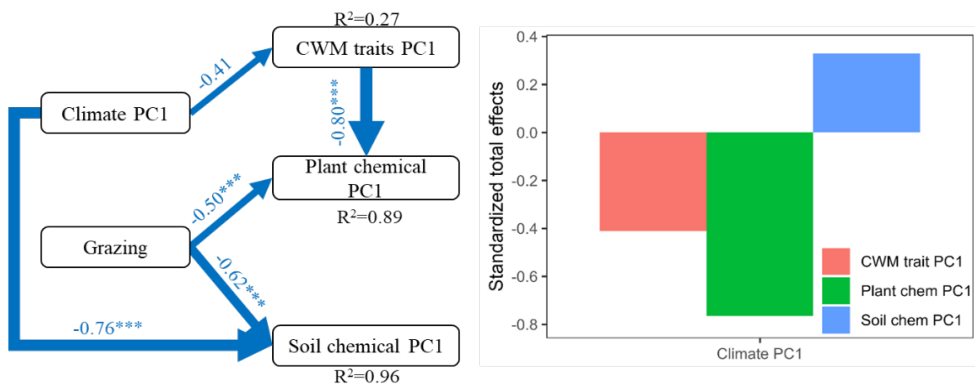
Бид бүтцийн тэгшитгэлийн загварчлал (SEM)-ын аргыг ашиглан ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар, ургамлын химийн шинж чанар болон хөрсний химийн шинж чанарын үзүүлэлтүүдэд бэлчээрлэлт болон уур амьсгалын хүчин зүйлсийн нөлөөллийг ялгаатай хээрийн гурван ургамал бүлгэмдэл тус бүрд шалгасан. Уур амьсгалын хүчин зүйлсэд жилийн дундаж агаарын температур болон жилийн нийлбэр хур тунадас (Climate PC1: MAT, TAP), бүлгэмдлийн жигнэгдсэн дундаж үйл ажиллагааны шинж чанарт ургамлын өндөр, навчны зузаан, навчны харьцангуй талбайн хэмжээ, навч болон үндэсний хуурай бодисын агууламж, үндэсний харьцангуй урт (CWM traits PC1: Height, LT, SLA, LDMC, RDMC, SRL), ургамал болон хөрсний химийн шинж чанарт фосфор, азот, нүүрстөрөгч, нүүрстөрөгчийн агууламж мөн азотын харьцаа (Plant and soil chemical PC1: P, N, C contents болон C: N ratio) багтана. Үр дүнгээс харахад уулын хээрийн ургамал бүлгэмдэлд уур амьсгалын хүчин зүйлс нь хөрсний химийн шинж чанар ( $p < 0.001$ ) болон ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанарт ( $p < 0.05$ ) шууд эергээр харин бэлчээрлэлт болон ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар нь ургамлын химийн шинж чанарт шууд сөргөөр нөлөөлж байна ( $p < 0.001$ ; Зураг 6). Уур амьсгалын хүчин зүйл нь ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар болон хөрсний химийн шинж чанарт шууд, ургамлын химийн шинж чанарт шууд бус эергээр нөлөөлж байгаа буюу хөрсний химийн шинж чанартай харилцан үйлчилж нөлөөлж байна (Зураг 6).



**Зураг 6.** Уулын хээрийн бүлгэмдлийн жигнэсэн дундаж ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар (CWM traits PC1), ургамлын химийн шинж чанар (Plant chemical PC1) болон хөрсний химийн шинж чанарын (Soil chemical PC1) үзүүлэлтүүдэд бэлчээрлэлт (Grazing) болон уур амьсгалын хүчин зүйлийн (Climate PC1) үзүүлэх нөлөөг бүтцийн тэгшитгэлийн загварчлалын (SEM) аргаар шалгасан дүн. Улаан сум эерэг, цэнхэр сум сөрөг нөлөөллийг илтгэнэ.

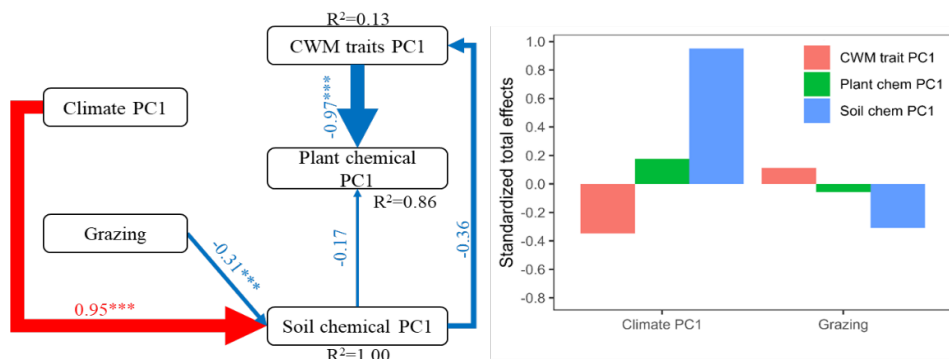
Хуурай хээрийн бүлгэмдэлд уур амьсгалын хүчин зүйл нь хөрсний химийн шинж чанарт шууд сөргөөр харин бэлчээрлэлт нь ургамлын химийн шинж чанар болон хөрсний химийн шинж чанарт мөн шууд сөргөөр нөлөөлж байна

( $p < 0.001$ ; Зураг 7). Ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар нь ургамлын химийн шинж чанарт мөн шууд сөргөөр нөлөөлж байна ( $p < 0.001$ ; Зураг 7). Уур амьсгалын хүчин зүйл нь ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар болон ургамлын химийн шинж чанарт шууд бус сөргөөр харин хөрсний химийн шинж чанарт шууд бус эергээр нөлөөлж байна (Зураг 7).



**Зураг 7.** Хуурай хээрийн бүлгэмдлийн жигнэсэн дундаж ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар (CWM traits PC1), ургамлын химийн шинж чанар (Plant chemical PC1) болон хөрсний химийн шинж чанарын (Soil chemical PC1) үзүүлэлтүүдэд бэлчээрлэлт (Grazing) болон уур амьсгалын хүчин зүйлийн (Climate PC1) үзүүлэх нөлөөг бүтцийн тэгшитгэлийн загварчлалын (SEM) аргаар шалгасан дүн. Улаан сум эерэг, цэнхэр сум сөрөг нөлөөллийг илтгэнэ.

Цөлөрхөг хээрийн бүлгэмдэлд уур амьсгалын хүчин зүйл нь хөрсний химийн шинж чанарт шууд эергээр харин бэлчээрлэлт нь хөрсний химийн шинж чанарт шууд сөргөөр нөлөөлж байна ( $p < 0.001$ ; Зураг 8). Ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар нь ургамлын химийн шинж чанарт шууд сөргөөр нөлөөлж байна ( $p < 0.001$ ; Зураг 8). Уур амьсгалын хүчин зүйл болон бэлчээрлэлт эдгээр гурван шинж чанарт шууд бусаар мөн адил нөлөөлж байгаа нь харагдаж байна (Зураг 8).



**Зураг 8.** Цөлөрхөг хээрийн бүлгэмдлийн жигнэсэн дундаж ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар (CWM traits PC1), ургамлын химийн шинж чанар (Plant chemical PC1) болон хөрсний химийн шинж чанарын (Soil chemical PC1) үзүүлэлтүүдэд бэлчээрлэлт (Grazing) болон уур амьсгалын хүчин зүйлийн (Climate PC1) үзүүлэх нөлөөг бүтцийн тэгшитгэлийн загварчлалын (SEM) аргаар шалгасан дүн. Улаан сум эерэг, цэнхэр сум сөрөг нөлөөллийг илтгэнэ.

### Хэлэлцүүлэг

Энэхүү судалгаагаар уулын хээр, хуурай хээр, цөлөрхөг хээрийн ургамал бүлгэмдлийн ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар, ургамлын химийн шинж чанар болон хөрсний химийн шинж чанарыг харьцуулан судалсан. Судалгааны үр дүнд уулын хээрийн ургамал бүлгэмдэл нь тухайн орчныхоо уур амьсгалын нөхцөлд дасан зохицсон, мөн цөлөрхөг хээрийн ургамал, хөрс нь уур амьсгалын эрс тэс нөхцөлд дасан зохицсоныг илтгэж байна. Харин хуурай хээрийн ургамал, хөрс нь уур амьсгалын өөрчлөлтөд илүү мэдрэмтгий байдгийг харуулж байна. Гурван ургамал бүлгэмдэлд уур амьсгалын хүчин зүйл хөрсний химийн шинж чанарт эерэг болон сөргөөр шууд хүчтэй нөлөө үзүүлдэг болох нь SEM анализын үр дүнгээс харагдаж байна. Хэт халалт, хур тунадасны өөрчлөлт зэрэг уур амьсгалын өөрчлөлтөөс хамаарч хөрсний хүчилтөрөгч ба чийг багасаж, органик бодисын агууламж, эрдсийн бүтэц өөрчлөгдөж, хөрсний элэгдэл, ус хадгалах чадвар буурах зэрэгт шууд нөлөөлдгийг бусад судлаачдын бүтээлд онцлон харуулсан байна (Kronnäs et al., 2023; Tong et al., 2023; Eekhout and Vente, 2022; Xin et al., 2020).

Мал бэлчээрлэлт нь ялгаатай хээрийн гурван ургамал бүлгэмдэл дэх ургамал хөрсний химийн шинж чанарт шууд сөрөг нөлөөтэй байгаа нь бусад судалгааны ажлын үр дүнтэй таарч байна. Тухайлбал Luo et al. (2019) болон Xu et al. (2020) нарын судалгаанд ургамал бүлгэмдэлд уур амьсгалын үзүүлэлт болон мал бэлчээрлэлтийн хавсарсан нөлөөллийн улмаас ургамал болон хөрсний шим тэжээлийн эргэлт ихээр алдагддаг болохыг тогтоосон байна. Мал бэлчээрлэлтийн нөлөөгөөр ургамлын биомасс буурч, улмаар хөрсөн дэх орох органик бодисыг агууламж буурдаг. Органик бодис нь шим тэжээлийн чухал эх үүсвэр бөгөөд хөрсний үржил шим, рН-ийн тэнцвэрийг хадгалах гол түлхүүр юм (Smith et al., 2018). Иймд органик бодисын бууралтаас үүдэн хөрсний

шим тэжээлийн нөөц буурч, химийн шинж чанарыг өөрчлөхөд хүргэдэг. Мөн бэлчээрлэлтийн нөлөөгөөр хөрс нягтарч, сүвэрхэг чанар багасаж, усны нэвчилт, агааржуулалт буурахад хүргэдэг. Jones and Brown (2017) нарын судалгаагаар нягтаршсан хөрс нь бичил биетний идэвхжил, шим тэжээлийн эргэлтийг бууруулж, улмаар хөрсний химийн төлөв байдал болон үржил шимийг бүхэлд нь доройтуулдаг. Цаашилбал, бэлчээрийн идэмж ихтэй ургамлууд багасаж, шим тэжээлийн бага агууламжтай эсвэл доройтлын таниур зүйл ургамлууд зонхилсноор тухайн ургамал бүлгэмдлийн бүтэц өөрчлөгддөг. Ургамлын бүлгэмдлийн бүтэц дэх энэхүү өөрчлөлт нь ургамлын химийн найрлагад мөн нөлөө үзүүлэх ба шууд бусаар хөрсний химийн найрлагад нөлөөлж, янз бүрийн ургамлын төрөл зүйл нь хөрсний экосистемд төрөл бүрийн органик нэгдлүүдийг бий болгодог (Yan et al., 2022; Li et al., 2019).

Ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар нь ургамлын химийн найрлагад шууд сөрөг нөлөө үзүүлсэн байна. Díaz et al. (2016) болон Fry et al. (2013) нарын судалгаагаар ургамлын химийн шинж чанар, шим тэжээлийн агууламж нь ургамлын өсөлт хөгжилд хуваарилагдан зарцуулагдах ба ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар болон ургамлын химийн найрлага хооронд нарийн уялдаа холбоотой тул дэлгэрэнгүй судлах шаардлагатай гэжээ. Хээрийн ялгаатай ургамал бүлгэмдлүүдэд мал бэлчээрлэлтийн болон уур амьсгалын хүчин зүйлсийн хариу үйлдэлд ажиглагдсан ялгаа нь тухайн хээрийн бүлгэмдлүүдийн орчин нөхцөлдөө дасан зохицох чадвартай холбоотой. Уур амьсгалын харьцангуй таатай нөхцөлтэй уулын хээр нь мал бэлчээрлэлтийн нөлөөлөлд илүү тэсвэртэй бол хуурай хээр, цөлөрхөг хээр нь эрс тэс уур амьсгалтай, уур амьсгалын өөрчлөлт болон мал бэлчээрлэлтийн нөлөөнд илүү мэдрэмтгий байдаг. Эдгээр үр дүн нь бэлчээрийн экосистемийн менежмент, хамгаалалд чухал ач холбогдолтой бөгөөд энэ нь ургамал бүлгэмдэл тус бүрийн өвөрмөц шинж чанар, эмзэг байдлыг харгалзан тусгайлан боловсруулсан стратеги шаардлагатайг харуулж байна (Luo et al., 2019).

### Дүгнэлт

Хээрийн гурван ургамал бүлгэмдлийн ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанар, ургамлын химийн шинж чанар болон хөрсний химийн шинж чанарт бэлчээрлэлт болон уур амьсгалын хүчин зүйлс харилцан адилгүй нөлөө үзүүлж байна. Энэ нь тухайн хээрийн гурван ургамал бүлгэмдлийн өөр өөрийн онцлогоос хамаарч байна. Жишээ нь уур амьсгал нь хөрсний химийн шинж чанарт уулын хээр болон цөлөрхөг хээрийн ургамал бүлгэмдэлд шууд эерэг хүчтэй нөлөөтэй бол хуурай хээрийн ургамал бүлгэмдэлд шууд сөрөг хүчтэй нөлөө үзүүлж байгаа бөгөөд хөрсний химийн шинж чанараар дамжуулан ургамлын шинж чанарт дам эерэг нөлөө үзүүлдэг нь бидний судалгаагаар тогтоогдлоо. Мал бэлчээрлэлт нь хөрсний химийн шинж чанарт хуурай хээрийн бүлгэмдэлд шууд сөрөг, ургамлын химийн шинж чанарт уулын хээр болон хуурай хээрийн бүлгэмдэлд шууд сөрөг нөлөөтэй. Харин цөлөрхөг хээрийн бүлгэмдлийн ургамлын үйл ажиллагаа, ургамлын хими болон хөрсний химийн шинж чанарт шууд бус нөлөөтэй байна. Үүнээс үзэхэд ялгаатай хээрийн гурван

ургамал бүлгэмдлийн хөрс болон ургамлын шинж чанарт уур амьсгал чухал хүчин зүйл бөгөөд харин бэлчээрлэлт нь цөлөрхөг хээрийн ургамал бүлгэмдэлд сөрөг хүчин зүйл болж байна.

### Талархал

Энэхүү судалгааг Эдийн Засаг Хөгжлийн Яамны захиалгаар Шинжлэх Ухаан Технологийн Сангийн санхүүжилттэй “Хээрийн экосистемийн үйлчилгээнд абиотик, биотик хүчин зүйлсийн харилцан үйлчлэлийн нөлөө” сэдэвт / ШУТБИХХЗГ-2022/169/ суурь судалгааны төслийн хүрээнд хийж гүйцэтгэв.

### Эшилсэн бүтээл

- Chambers J., Hastie T., Pregibon D. 1990. Statistical Models in S. In: Momirović, K., Mildner, V. (eds) *Compstat*. Physica-Verlag HD. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-50096-1\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-642-50096-1_48)
- Cingolani A.M., Posse G., Collantes M.B. 2005. Plant functional traits, herbivore selectivity and response to sheep grazing in Patagonian steppe grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 42: 50-59. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00978.x>
- David Zelený. 2018. Which results of the standard test for community-weighted mean approach are too optimistic? *Journal of Vegetation Science*, 29(6): 953–966. <https://doi.org/10.1111/jvs.12688>
- Díaz S., Kattge J., Cornelissen J. et al. 2016. The global spectrum of plant form and function. *Nature*, 529: 167–171. <https://doi.org/10.1038/nature16489>
- Eekhout J.P.C. and Vente J.D. 2022. Global impact of climate change on soil erosion and potential for adaptation through soil conservation. *Earth-Science Reviews*, 226: 103921. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103921>
- Eric Garnier, Sandra Lavorel, Pauline Ansquer, Helena Castro, Pablo Cruz, Jiri Dolezal, Ove Eriksson, Claire Fortunel, Helena Freitas, Carly Golodets, Karl Grigulis, Claire Jouany, Elena Kazakou, Jaime Kigel, Michael Kleyer, Veiko Lehsten, Jan Lepš, Tonia Meier, Robin Pakeman, Maria Papadimitriou, Vasilios P. Papanastasis, Helen Quested, Fabien Quétier, Matt Robson, Catherine Roumet, Graciela Rusch, Christina Skarpe, Marcelo Sternberg, Jean-Pierre Theau, Aurélie Thébault, Denis Vile, Maria P. Zarovali. 2007. Assessing the Effects of Land-use Change on Plant Traits, Communities and Ecosystem Functioning in Grasslands: A Standardized Methodology and Lessons from an Application to 11 European Sites. *Annals of Botany*, 99(5): 967–985, <https://doi.org/10.1093/aob/mcl215>
- Fang Q., Wang G., Liu T., Xue BL., & A Y. 2018. Controls of carbon flux in a semi-arid grassland ecosystem experiencing wetland loss: Vegetation patterns and environmental variables. *Agricultural and Forest Meteorology*, 259: 196–210. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.05.002>
- Fry E.L., Power S.A., & Manning P. 2013. Trait-based classification and manipulation of plant functional groups for biodiversity–ecosystem function experiments.

- Journal of Vegetation Science, 25(1): 248-261. <https://doi.org/10.1111/jvs.12068>
- Lavorel S. 2013. Plant functional effects on ecosystem services. *Journal of Ecology*, 101: 4–8. <https://doi.org/10.2307/23354660>
- Li S., Li M., Wang G. et al. 2019. Compositional and chemical characteristics of dissolved organic matter in various types of cropped and natural Chinese soils. *Chem. Biol. Technol. Agric*, 6: 20. <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0158-z>
- Lienin P., Kleyer M. 2012. Plant trait responses to the environment and effects on ecosystem properties. *Basic and Applied Ecology*, 13: 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2012.05.002>
- Liu H., Mi Zh., Lin L., Wang Y., Zhang Zh., Zhang F., Wang H., Liu L., Zhu B., Cao G., Zhao H., Sanders N.J., Classen A.T., Reich P.B., He J.Sh. 2018. Shifting plant species composition in response to climate change stabilizes grassland primary production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(16): 4051–4056. <https://doi.org/10.1073/pnas.1700299114>
- Luo W., Elser J.J., Lü X.T., Wang Z., Bai E., Yan C., ... & Han X. 2019. Plant nutrients do not covary with soil nutrients under changing climatic conditions. *Global Biogeochemical Cycles*, 30(12): 1792-1802. <https://doi.org/10.1002/2015GB005089>
- Lê S., Josse J., & Husson F. 2008. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1): 1–18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- López-Mársico L., Altesor A., Oyarzabal M., Baldassini P., & Paruelo J.M. 2015. Grazing increases below-ground biomass and net primary production in a temperate grassland. *Plant and Soil*, 392(1–2): 155–162. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2452-2>
- María T, Domínguez, Cristina Aponte, Ignacio M, Pérez-Ramos, Luis V. García, Rafael Villar, Teodoro Marañón. 2012. Relationships between leaf morphological traits, nutrient concentrations, and isotopic signatures for Mediterranean woody plant species and communities. *Plant Soil*, 357: 407–424. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1214-7>
- Milchunas D.G., Lauenroth W.K. 1993. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecological Monographs*, 63: 327–366. <https://doi.org/10.2307/2937150>
- Papanikolaou A.D., Fyllas N.M., Mazaris A.D., Dimitrakopoulos P.G., Kallimanis A.S., Pantis J.D. 2011. Grazing effects on plant functional group diversity in Mediterranean shrublands. *Biodiversity and Conservation*, 20(12): 2831–2843. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0112-2>
- Pérez-Harguindeguy N., Díaz S., Garnier E., Jaureguiberry P., Poorter L., ter Steege H., & Cornelissen J.H.C. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61(3): 167-234. <https://doi.org/10.1071/BT12225>
- R Core Team (R-4.4.0). 2025. A language and environment for statistical computing.

- Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- Smith P., Lutfalla S., Riley W.J., Torn M.S., Schmidt M.W.I., Soussana J.F. 2018. The changing faces of soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*, 69(1): 23–30. <https://doi.org/10.1111/ejss.12500>
- Tong Y., Long Y. and Yang Z. 2023. Effects of warming and isolation from precipitation on the soil carbon, nitrogen, and phosphorus, and their stoichiometries in an alpine meadow in the Qinghai–Tibet Plateau: A greenhouse warming study. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11: 1149240. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1149240>
- Veronika Kronnäs, Klas Lucander, Giuliana Zanchi, Nadja Stadlinger, Salim Belyazid, and Cecilia Akselsson. 2023. Effect of droughts and climate change on future soil weathering rates in Sweden. *Biogeosciences*, 20: 1879-1899. <https://doi.org/10.5194/bg-20-1879-2023>
- Vile D., Garnier É., Shipley B., Laurent G., Navas M.L., Roumet C, Lavorel S., Díaz S., Hodgson J.G., Lloret F, Midgley G.F., Poorter H., Rutherford M.C., Wilson P.J., Wright I.J. 2005. Specific Leaf Area and Dry Matter Content Estimate Thickness in Laminar Leaves. *Annals of Botany*, 96(6): 1129–1136. <https://doi.org/10.1093/aob/mci264>
- Violle C., Navas M.L., Vile D., Kazakou E., Fortunell C., Hummel I., & Gamier E. 2007. Let the concept of trait be functional. *Oikos*, 116: 882–892. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>
- Wang J., Wei H., Cheng K., Li G., Ochir A., Bian L., Davaasuren D., Chonokhuu S., Nasanbat E. 2019. Spatio-Temporal Pattern of Land Degradation along the China-Mongolia Railway (Mongolia). *Sustainability*, 11(9): 2705. <https://doi.org/10.3390/su11092705>
- Xin X., Jin D., Ge Y., Wang J., Chen J., Qi J. et al. 2020. Climate change dominated long-term soil carbon losses of Inner Mongolian grasslands. *Global Biogeochemical Cycles*, 34: e2020GB006559. <https://doi.org/10.1029/2020GB006559>
- Yan Y., Niu S., He Y., Wang S., Song L., Peng J., Chen X., Quan Q., Meng C., Zhou Q., Wang J. 2022. Changing plant species composition and richness benefit soil carbon sequestration under climate warming. *Functional Ecology*, 36: 2906–2916. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14218>
- Zhang T., Wang G.X., Yang Y., Mao T.X., Chen X.P. 2017. Grassland types and season-dependent response of ecosystem respiration to experimental warming in a permafrost region in the Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247: 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.010>
- Гомболүүдэв П., Нацагдорж Л., Сарантуяа Г. 2010. Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлт, түүний ирээдүйн төлөв. Төв Ази, Өмнөд Сибирийн шилжилтийн эко бүс нутгийн шим мандал дахь экологийн үр дагавар. 1: 41-44.
- Түвшинтогтох И. Монгол орны хээрийн ургамалжил. УБ. Бэмби сан, 2014. 610 х.
- Ургамалжлын урт хугацааны мониторинг судалгааны нэгдсэн аргазүй. 2019.

ШУА-ийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэн, Ургамалжлын экологийн салбар. Улаанбаатар хот.

Хосбаяр Ч., Нарантуяа Н., Мөнхзул О. 2015. Нугын их ашиглагдсан бүлгэмдлийн байгалийн аясаар нөхөн сэргэх явц. Ерөнхий болон сорилын биологийн хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний бүтээл, 31: 288-300.

Энхмаа Э., Лянхуа Б., Батзориг Т. 2025. Хээрийн экосистемийн үйлчилгээнд абиотик, биотик хүчин зүйлсийн харилцан үйлчлэлийн нөлөө. Суурь судалгааны төслийн тайлан. ШУА-ийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэн, Ургамалжлын экологийн салбар. Улаанбаатар хот. Ху. 112.

## The effects of climate and grazing on the plant and soil traits of various steppe vegetation communities in Mongolia

Enkhmaa Erdenebileg\*, Batzorig Tugsbayar, Batzaya Gachmaa, Enkhriiamaa Narmandakh, Lyankhua Bayasgalankhuu, Khatansaikhan Purevdorj, Tuvshintogtokh Indree

*Sector of Vegetation Ecology, Botanic Garden and Research Institute, Mongolian Academy of Sciences Ulaanbaatar, Mongolia*

\*E-mail: [enkhmaa\\_e@mas.ac.mn](mailto:enkhmaa_e@mas.ac.mn), <https://orcid.org/0000-0003-1345-5058>

---

Received: 31.05.2025

Revised: 11.08.2025

Accepted: 05.09.2025

---

**Abstract:** The economic strategy of a plant, or its plant functional traits, is a crucial determinant of the influence of plant species on the functioning of steppe ecosystems and delineates the attributes of the ecosystem. This study aimed to investigate the plant functional traits and macroelement content of plants and soil in various nutrient-limited steppe ecosystems and to elucidate the effects of climate and grazing on these ecosystems. Field surveys were conducted in 2023 and 2024, plant and soil sample materials were collected from three representative steppe ecosystems: mountain steppe (Mungunmort soum, Tuv province - MS), typical steppe (Tumentsogt soum, Sukhbaatar province - TS), and desert steppe (Ikh Nart Nature Reserve, Dalanjargalan soum, Dornogovi province - DS). These sites were selected to capture the ecological variability across Mongolia's major steppe types. When comparing the community-weighted mean values of plant functional traits, the specific leaf area of plant species was relatively high in the mountain steppe (58.04–168.15 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) and relatively low in the typical and desert steppes (4.44–101.05 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), whereas the specific length of the root had the opposite trend. However, when comparing the macroelement contents of plants among the three communities, the phosphorus content of leaves and roots (leaves: MS 0.3 ± 0.03; TS, DS 0.13~0.15 ± 0.02; roots: MS 0.23 ± 0.04; TS, DS 0.13~0.14 ± 0.01) and carbon content in mountain steppe (leaves: MS 2.9 ± 0.11; TS, DS 2.7~2.8 ± 0.1; roots: MS 3.1 ± 0.10; TS, DS 2.6~2.9 ± 0.04) were relatively higher than the other two steppes, while the nitrogen content was low (leaves: MS 0.32 ± 0.03; TS, DS 0.52~0.55 ± 0.02; roots: MS 0.21 ± 0.02; TS, DS 0.28 ± 0.02). As a result of structural equation modeling (SEM) analysis, it was found that climate has a strong direct positive effect on soil chemical properties in the mountain steppe and desert steppe, but a strong direct negative effect on the typical steppe, and an indirect positive effect on plant functional traits through soil chemical properties. Grazing has a direct negative effect on soil chemical properties in the typical steppe and a direct negative effect on plant chemical properties in the mountain and typical steppes. However, there are indirect effects on the plant functional traits and plant and soil chemical traits of the desert steppe. Our findings demonstrate that climate is an important factor in the soil and plant traits across steppe ecosystems, and grazing should be carefully regulated in desert steppe to prevent irreversible degradation. This highlights the adaptive management strategies that need to consider both climatic conditions and ecosystem types when planning the sustainable use of rangelands.

**Keywords:** mountain steppe, typical steppe, desert steppe, plant functional traits, plant chemical properties, soil chemical properties, climate factor, grazing

---

© The Author(s). 2025 Open Access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.