

Гурван зүйл хялганын навчны задралд хүрээлэн буй орчны хүчин зүйлсийн үзүүлэх нөлөө

Төгсбаярын Батзориг, Эрдэнэбилэгийн Энхмаа*, Индрээгийн Түвшинтогтох

Шинжлэх Ухааны Академийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэн, Уланбаатар 13330, Монгол улс

*И-мэйл: enkhmaa_e@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0003-1345-5058>

<https://doi.org/10.5564/mjb.v5i31.3264>

Хүлээн авсан: 2023.05.31

Хянасан: 2023.10.09

Хэвлэлтэнд: 2023.11.16

Хураангуй. Ургамлын задрал нь хуурай газрын экосистем дэх нүүрстөрөгч болон шим тэжээлийн бодисын эргэлтэд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Чийглэг экосистемийн ургамлын задралд абиотик хүчин зүйлийн нөлөө их байдаг нь чийгийн таатай нөхцөл, задлагч микроорганизм их байдагтай холбоотой. Харин хуурай болон хагас хуурай экосистемийн хувьд ургамлын бүрхэвч сийрэг, хөрсний температур өндөр, хур тунадасны хэмжээ бага байдгаас хамаарч ургамлын задралд абиоток, биотик хүчин зүйл нөлөөлдөг. Хуурай болон хагас хуурай Монгол орны нугажуу, хуурай болон цөлөрхөг хээрийн ургамлын навчны задралд хүрээлэн буй орчны хүчин зүйлс хэрхэн нөлөөлж байгаа нь тодорхойгүй хэвээр байна. Тиймээс энэхүү судалгааны ажлаар нугажуу хээр, хуурай хээр болон цөлөрхөг хээрийн зонхилогч үетэн ургамал болох гурван зүйл хялганын (*Stipa baicalensis*, *Stipa grandis*, *Stipa gobica*) навчны задралд хүрээлэн буй орчны хүчин зүйлс болон ургамлын шинж чанар хэрхэн нөлөөлж буй болон бүлгэмдэл хоорондын ялгааг илрүүлэх зорилготой ажиллалаа. Бид туршилтыг гэрэлтэй болон сүүдэрлэсэн хоёр хувилбартай 2 жилийн хугацаанд 4 удаагийн дээж хураалттай (6, 12, 18 болон 24 сар) хийж гүйцэтгэсэн. Судалгааны үр дүнд ургамлын навчны задрал нь хялганын гурван зүйл хооронд ялгаатай бөгөөд үүнээс *Stipa gobica*-ийн навчны задралын хурд харьцангуй өндөр болохыг тогтоов. Мөн *Stipa gobica* зүйлийн навчны задралын хурд нь навчны шинж чанараас эерэг болон сөрөг хамаарч байсан бол цаг уурын үзүүлэлтүүдтэй эерэг ($r=0.55$) хамааралтай байсан. Харин *Stipa baicalensis* зүйлийн хувьд навчны шинж чанараас сөрөг ($r=-0.56$ – -0.63) хамааралтай, *Stipa grandis* зүйлийн тухайд навчны шинж чанараас эерэг хүчтэй хамааралтай байна ($r=0.68-0.89$). Ургамлын навчны задралд улирлын байдал нөлөөтэй бөгөөд 4-р сараас 10-р сарын хооронд задралын хэмжээ хамгийн өндөр байсан бол 11-р сараас 3-р сар хүртэл задралын хурд маш бага байв. Үүнээс харахад нугажуу хээр болон хуурай хээрийн ургамлын задрал тухайн ургамлын шинж чанараас хамаардаг бол цөлөрхөг хээрийн ургамлын задралд хүрээлэн буй орчны хүчин зүйлс чухал нөлөөтэй байна.

Түлхүүр үгс: Хялгана, навчны задрал, нарны гэрэл, сүүдэр, навчны шинж чанар, нугажуу хээр, хуурай хээр, цөлөрхөг хээр

Эшлэл авахдаа: Батзориг Т., Энхмаа Э*, Түвшинтогтох И. 2023. Гурван зүйл хялганын навчны задралд хүрээлэн буй орчны хүчин зүйлсийн үзүүлэх нөлөө. *Монголын ботаникийн сэтгүүл*, 05 (31): 51-65.

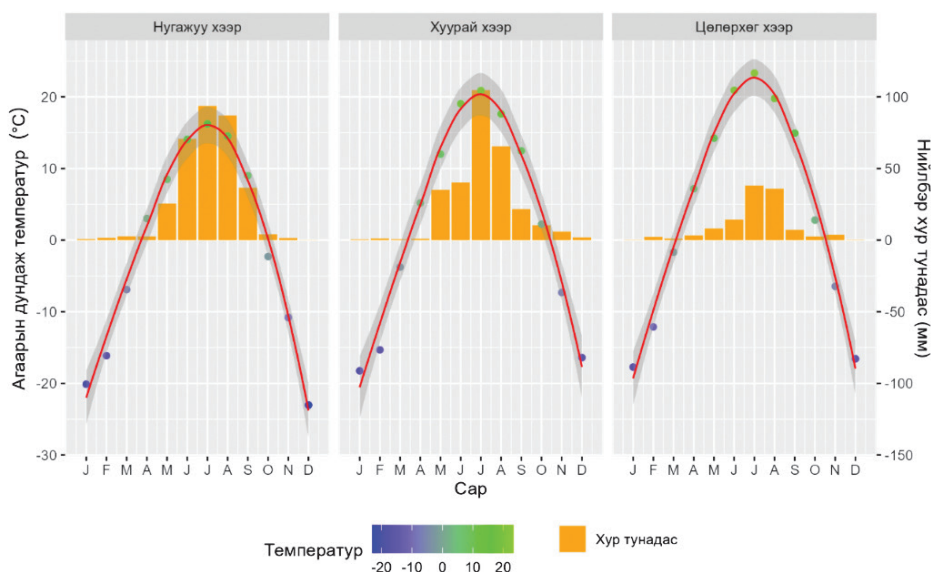
Удиртгал

Экосистемийн хоёр чухал үйл явцын нэг болох ургамлын задралын процесс нь фотосинтезтэй харьцуулахад ач холбогдлын хувьд адил чухал (Berg and McClaugherty, 2008; Moorhead and Sinsabaugh, 2006) бөгөөд ихэнх хуурай газрын экосистемд ургамлын задрал нь ургамлын биологийн идэвхжилийг хөрсний шим тэжээлээр хангадаг экологийн үндсэн үйл явц болдог (Swift et al., 1979). Ногоон ургамал нь CO_2 -ийг шингээх замаар фотосинтез явуулан ургадаг бол үүний эсрэгээр ургамлын задралын явцад CO_2 нь агаарт ялгарч, мөн хөрсөнд буцаж шингэдэг. Ургамлын задралаар шим тэжээлийн бодис хөрсөнд шингэж, бичил биетнийг энергиэр хангадаг (Bhatt et al., 1985). Тиймээс ургамлын задрах үйл явц нь дэлхийн эх (хуурай) газрын нүүрстөрөгч (C) болон шим тэжээлийн бодисын эргэлтэд чухал үүрэгтэй бөгөөд дэлхийн биогеохимийн эргэлтийг бүрэлдүүлэгч нэг хэсэг болдог (Berg and McClaugherty, 2008; Swift et al., 1979). Сүүлийн хэдэн арван жилийн турш ургамлын задралын явцын талаарх ойлголт нь ургамлын задралыг хянах биологийн болон биологийн бус хүчин зүйлийг тодорхойлох мөн ургамлын задралын үед шим тэжээлийн бодис, нүүрстөрөгчийн нэгдлүүдийн өөрчлөлтийг тодорхойлоход чиглэгдэж байсан (Liu et al., 2018; King et al., 2012; Austin and Vivanco, 2006; Swift et al., 1979). Ургамал задрах үйл явц нь уур амьсгал, ургамлын шинж чанар, бичил биетний арви мөн тэдгээрийн харилцан үйлчлэлээр зохицуулагддаг (Cotrufo et al., 2010; Couiteaux et al., 1995; Meentemeyer, 1978). Үүнээс харахад ургамлын задралд нөлөөлж буй гол хүчин зүйлүүд нь: задлагч организм ба түүний шинж чанар (Swift et al., 1979), ургамлын шинж чанар (Ross et al., 2002; Moretto et al., 2001; Hooper and Vitousek, 1998; Kalburtji et al., 1999) болон хүрээлэн буй орчны физик, химийн шинж чанарууд юм (Koukoura, 2003; Kalburtji et al., 1997, 1998; Vitousek et al., 1994). Гэсэн хэдий ч манай орны хээрийн экосистемд тэр дундаа ялгаатай хээрийн ургамал бүлгэмдлийн ургамлын навчны задралын механизм нь тодорхойгүй хэвээр байна. Тиймээс энэхүү судалгааны ажлаар нугажуу хээр, хуурай хээр болон цөлөрхөг хээрийн зонхилогч үетэн ургамал болох гурван зүйл хялганын навчны задралд хүрээлэн буй орчны хүчин зүйлс болон ургамлын шинж чанарын нөлөө мөн бүлгэмдэл хоорондын ялгааг илрүүлэх зорилготой ажиллалаа.

Судалгааны материал, аргазүй

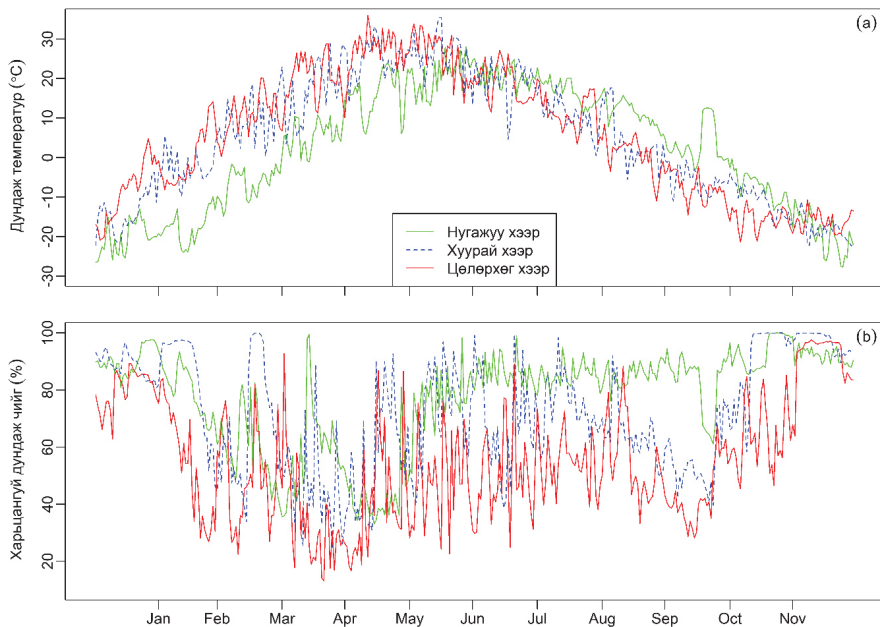
Судалгааг ШУА-ийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэнгийн Ургамалжлын экологи, ургамлын эдийн засгийн лабораторийн ургамалжлын мониторинг судалгааны суурин төвүүд болох Төв аймгийн Мөнгөнморьт сумын нугажуу хээр, Сүхбаатар аймгийн Түмэнцогт сумын хуурай хээр, Дорноговь аймгийн Даланжаргалан сумын Их Нартад орших цөлөрхөг хээрийн сууринд хийж гүйцэтгэсэн. Тус гурван газрын судалгаа явуулсан жилийн буюу 2020, 2021 болон 2022 оны агаарын дундаж температур болон нийлбэр хур тунадасны хэмжээг сар тус бүрээр үзэхэд жилийн дундаж агаарын температур нугажуу хээрт -0.17°C , хуурай хээрт 3.2°C харин цөлөрхөг хээрт 4.05°C тус тус байна

(Зураг 1). Харин нийлбэр хур тунадас нь нугажуу хээрт 326.02 мм, хуурай хээрт 288.7 мм байсан бол цөлөрхөг хээрт 116.3 мм байна (Зураг 1). Мөн түүнчлэн гурван ургамал бүлгэмдлийн ургамал ургалтын үеийн хур тунадас болон агаарын дундаж температурыг харьцуулж үзэхэд хуурай хээрт 7 дугаар сард хамгийн их буюу 314.1 мм хур тунадас унасан бол цөлөрхөг хээрт мөн тус сард хамгийн дулаан буюу агаарын дундаж температур 23.3°C хүрсэн байна (Зураг 1).



Зураг 1. Судалгааны талбайн туршилт явуулсан жилүүдийн агаарын дундаж температур (°C), нийлбэр хур тунадасны (мм) хэмжээ сар тус бүрээр

Туршилтын талбайн хөрсний гадарга дээрх температур, харьцангуй чийгийг гурван бүлгэмдэлд харьцуулж үзэхэд хуурай хээр болон цөлөрхөг хээрийн хөрсний гадарга дээрх температур нугажуу хээртэй харьцуулахад харьцангуй өндөр бөгөөд харьцангуй чийг бага байна (Зураг 2). Судалгаа явуулсан газрын зонхилогч зүйл ургамлын хувьд нугажуу хээрт *Stipa baicalensis*, *Festuca lenensis*, *Koeleria machrantha*, *Stelleria chamejasme*, хуурай хээрт *Stipa grandis*, *Leymus chinensis*, *Cleistogenes squorrosa*, *Stipa sibirica* зэрэг зүйл ургамлууд зонхилон ургадаг бол цөлөрхөг хээрт *Allium polyrhizum*, *Stipa gobica*, *Artemisia frigida* зэрэг зүйлүүд тус тус зонхилон ургадаг.



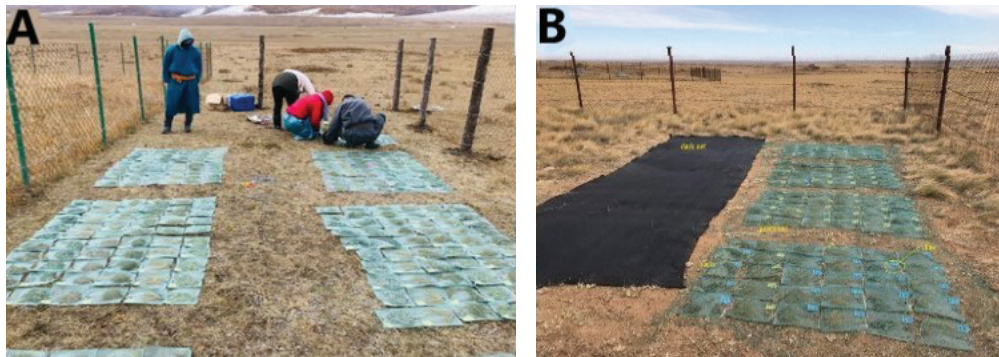
Зураг 2. Хээрийн гурван ургамал бүлгэмдлийн ургамлын навчны задралын туршилтын талбайн газрын гадарга дээрх 2020-2022 оны сарын дундаж температур (°C) болон харьцангуй дундаж чийгшил (%)

Туршилтын загвар 1

Хээрийн гурван ургамал бүлгэмдлээс зонхилогч нэг зүйл үетэн буюу нугажуу хээрийн *Stipa baicalensis*, хуурай хээрийн *Stipa grandis*, цөлөрхөг хээрийн *Stipa gobica* зүйл ургамлуудыг сонгон авч туршилтад ашигласан. Нугажуу хээрийн *Stipa baicalensis* зүйлийн навчны талбайн хэмжээ, хуурай бодисын агууламж, зузаан мөн макроэлементийн агууламж бусад хоёр зүйлээс харьцангуй өндөр байв (Хүснэгт 1). Навч дөнгөж шарлаж эхэлмэгц буюу хагдарч эхлэхэд 9 дүгээр сарын дундаас 10 дугаар сарын эхэн хүртэлх хугацаанд зүйл тус бүрийн нийт 40 уут дээж (3 ургамал * 5 давталттай * 2 туршилтын хувилбар * 4 туршилтын хугацаатай) байхаар тооцож нэг ургамлаас харьцангуй хуурай жингээр 120 гр навч цуглуулж, хөрс болон бусад хольцоос салган цэвэрлэж, агаарын температурт хатгал нь лабораторид байршуулсан. Ургамлын дээж хатсаны дараа 15 x 20 см хэмжээтэй, дээд тал нь 0.5 мм, доод тал нь 2 мм хэмжээтэй торон нүхтэй зориулалтын уутанд ургамлын зүйл тус бүрийн навчны дээжээс 3 гр хийж туршилтын хувилбарт байршуулсан (Зураг 3). Хээрийн гурван ургамал бүлгэмдэл тус бүрд нарны гэрэлтэй (light-exposed) болон сүүдэрлэсэн (shade) 2 хувилбарт зүйл ургамал бүрийг 5 давталттай байршуулав. Сүүдэрлэсэн хувилбарт нарны гэрлийг хаах зорилгоор хар пленк ашигласан ба энэ нь нарны гэрлийг 20% хүртэл бууруулдаг (Зураг 3). Гурван зүйлийн навчны макроэлементийн шилжилгээг хийхийн тулд зүйл тус бүрээс харьцангуй хуурай жингээр 3 гр байхаар тооцож 5 давталттай нийт 45 гр дээж цуглуулж, лабораторид шилжүүлсэн.

Хүснэгт 1. Ургамлын задралын судалгаанд ашигласан ургамлын зүйлийн жагсаалт, тэдгээрийн навчны шинж чанар (дундаж±стандарт алдаа).

№	Хээр	Зүйлийн латин нэр	Зүйлийн монгол нэр	Навчны зузаан (мм)	Навчны хуурай бодисын агууламж (г/г ⁻¹)	Навчны талбайн хэмжээ (см ² г ⁻¹)	Навчны нүүрсгөрөгчийн агууламж (С, %)	Навчны азотын агууламж (N, %)	Навчны фосфорын агууламж (P, %)	Навчны калийн агууламж (K, %)
1	Нугажуу хээр	<i>Stipa baicalensis</i> Roshev.	Байгалын хялгана	0.23 ± 0.01	0.52 ± 0.10	101.8±8.3	0.52±0.05	5.76±0.1	1.02±0.04	4.85±0.08
2	Хуурай хээр	<i>Stipa grandis</i> P.A. Smirn.	Том хялгана	0.20 ± 0.01	0.50 ± 0.11	62.9 ± 2.0	0.31±0.0	2.46±0.1	0.31±0.06	2.83±0.03
3	Цөлөрхөг хээр	<i>Stipa tianschanica</i> subsp. <i>gobica</i> (Roshev.) D.F. Cui	Говийн хялгана	0.21 ± 0.01	0.57 ± 0.14	32.9 ± 1.66	0.39±0.03	5.25±0.3	0.93±0.02	4.16±0.01



Зураг 3. Ургамлын навчны задралын туршилт судалгааны ажлын явц. А-ургамлын навчны ууттай дээжийг туршилтын талбайд байршуулж буй нь, В- хар пленкаар хучсан хувилбар нь нарны гэрлийг сүүдэрлэсэн мөн нарны гэрлийг нэвтрүүлсэн туршилтын хувилбар

Энэхүү туршилтыг 2020 оны 10 сараас 2022 оны 10 сар хүртэл 24 сарын турш хийж гүйцэтгэсэн. Туршилтын үргэлжлэх хугацаагаар нь 6 сар, 12 сар, 18 сар болон 24 сар гэж ялган, зүйл ургамлын навчны дээжийг туршилтын хугацаа бүрд хураан авч лабораторид хөрс болон бусад хольцоос салган цэвэрлэж, хатаах шүүгээнд 65°C-д 48 цаг хатаан хуурай жинг тодорхойлов. Мөн газрын гадарга дээрх температур, харьцангуй чийгшлийг автомат гар багаж ашиглан туршилтын эхлэлээс дуустал өдөр бүр 2 цагийн давтамжтай хэмжсэн.

Навчны зузааныг хэмжихдээ гурван зүйлийн 5 бодгаль цуглуулж, бодгаль тус бүрээс 5-8 ширхэг навч авч калифер багаж (Electronic Digital Caliper) ашиглан хэмжсэн. Навчны хуурай бодисын агууламжийг (LDMC) тодорхойлохдоо 5 бодгаль тус бүрийн бүх навчийг авч 1 хоног усанд дэвтээж хонуулаад нойтон усаар ханасан жинг хэмжиж, хатаах шүүгээнд 65°C 48 цаг хатаан хуурай жинг хэмжин, хуурай болон нойтон жингийн харьцаагаар тодорхойлсон. Навчны талбайн хэмжээг тодорхойлохын тулд ургамлын зүйлийн бодгаль тус бүрээс 10-15 ширхэг навч 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 (Cornelissen et al., 2003).

Статистик боловсруулалт

Цуглуулсан мэдээллийн дата боловсруулалтыг R программ (v4.2.1, R core team, 2022) ашиглан хийв.

Ургамлын навчны талбайн хэмжээг (Specific leaf area) дараах томъёогоор бодов (Vile et al., 2005). Навчны тодорхой талбай гэдэг нь тухайн ургамал навчны биомассаар хэр их талбайг барьж байгааг харуулсан харьцаа юм. Үүнийг навчны гадаргын талбайг навчны хуурай жинд харьцуулах байдлаар илэрхийлдэг.

$$SLA (cm^2 g^{-1}) = \frac{Leaf\ area\ (cm)}{Leaf\ dry\ weight\ (g)}$$

Ургамлын навчны хуурай бодисын агууламж (Leaf dry matter content) нь навчинд агуулагдах уургийн концентраци, цитоплазмын эзлэхүүнтэй холбоотой байдаг тул ургамлын бодисын солилцоог бий болгодог (María T et al., 2012). Энэ нь навчны хуурай жин болон нойтон жингийн харьцаагаар илэрхийлэгддэг.

$$Leaf\ dry\ matter\ content (gg^{-1}) = \frac{Leaf\ dry\ weight\ (g)}{Leaf\ saturated\ weight\ (g)}$$

Ургамлын задралын туршилтын навчны жингийн алдагдлыг дараах томъёогоор бодов. Массын алдагдал (mass loss, M)

$$M = (M_0 - M_1) / M_0$$

M_0 – анхны жин

M_1 – туршилтын хугацаанд задраад үлдсэн жин

Харин навчны задралын хурдыг (k утга (yr^{-1})) сөрөг экспоненциал загвар (negative exponential model) болох дараах томъёогоор бодов: (stats package –ийн ‘nls’ function)

$$Y_t = Y_o e^{-kt} \text{ (Olsen, 1963)}$$

Y_o –анхны жин

Y_t –туршилтын хугацаанд задраад үлдсэн жин

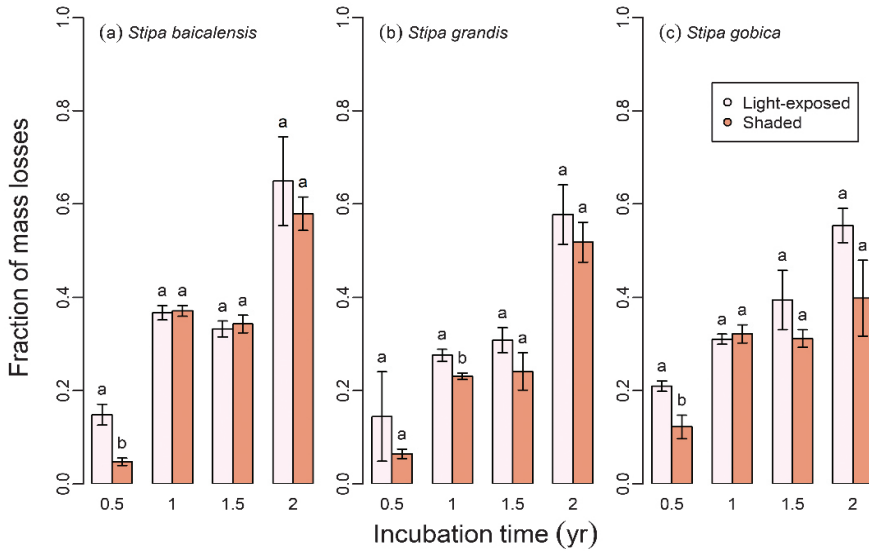
Нэг хүчин зүйлт вариацийн анализ (One-way ANOVA Tukey HSD tests) -аар гурван зүйлийн навчны задралын хурд болон массын алдагдлын зүйл хооронд болон зүйл тус бүрийн туршилтын хувилбар болон туршилтын хугацаа хоорондын ялгаатай байдлыг шалгасан (“aov” function, Chambers and Hastie, 1992). Харин гурван хүчин зүйлт вариацийн анализаар (three-way ANOVA) зүйл, туршилтын хувилбар болон туршилтын хугацааны нөлөөлөл болон ялгаатай байдлыг навчны массын алдагдал дээр бодов (“aov” function, Chambers and Hastie, 1992). Pearson-ын хамаарал (ggpubr, ggplot package; Kassambara, 2020) анализаар ургамлын үйл ажиллагааны шинж чанарууд, ургамал ургалтын үеийн дундаж температур, нийлбэр хур тунадас болон навчны задралын хурд хоорондын хамаарлыг тооцов.

Судалгааны үр дүн

Гурван зүйл хялганын навчны задралын хэмжээ. Гурван зүйл хялганын навчны массын алдагдал дээр туршилтын хугацаа, туршилтын хувилбар, зүйлийг тогтмол хүчин зүйл болгон ашигласан гурван хүчин зүйлт вариацийн анализын үр дүнгээс харахад туршилтын хугацаа ($p=0.001$), туршилтын хувилбар ($p<0.001$) болон зүйл ($p=0.022$) хооронд статистикийн ач холбогдолтой ялгаа илэрсэн. Мөн туршилтын хугацаа болон зүйл хоорондын харилцан үйлчлэлийн нөлөө ($p=0.014$) илэрсэн боловч бусад үзүүлэлтүүдийн харилцан үйлчлэлийн нөлөө илрээгүй (Хүснэгт 2). Харин зүйл тус бүрийн навчны задралын хэмжээг авч үзэхэд туршилтын хувилбар хооронд ялгаа илрээгүй ч туршилтын хугацаа хооронд ялгаатай байна (Зураг 4). Гэхдээ *Stipa baicalensis*, *Stipa gobica* зүйлийн навчны задралын хэмжээ туршилтын эхний хугацаа буюу эхний 6 сард туршилтын гэрэлтэй хувилбарт сүүдэрлэсэн хувилбараас хамгийн их задрал явагдсан байна (Зураг 4а; с). Ерөнхийдөө гурван зүйл тус бүрийн задралын хэмжээг туршилтын хугацаа хооронд харьцуулж харахад ургамал ургалтын үеийн хугацаа буюу 4-р сараас 10-р сарын хооронд задралын хэмжээ хамгийн их буюу 12-20% харин 11 сараас 3-р сар хүртэл задрал явагдахгүй зогсонги байдалд орж байна (Зураг 4).

Хүснэгт 2. Гурван зүйл хялганын навчны массын алдагдал дээр туршилтын хугацаа, туршилтын хувилбар, зүйлийг тогтмол хүчин зүйл болгон ашигласан гурван хүчин зүйлт вариацийн анализ (three-way ANOVA)-ын үр дүн

Массын алдагдал	Чөлөөний зэрэг	Квадратуудын нийлбэр	Квадратуудын дундаж	F утга	p утга
Туршилтын хугацаа (X)	3	2.697	0.899	99.802	0.001
Туршилтын хувилбар (TX)	1	0.108	0.108	12.045	<0.001
Зүйл (З)	2	0.071	0.036	3.959	0.022
X × TX	3	0.036	0.012	1.332	0.269
X × З	6	0.154	0.026	2.844	0.014
TX × З	2	0.008	0.004	0.437	0.647
X × TX × З	6	0.024	0.004	0.442	0.849

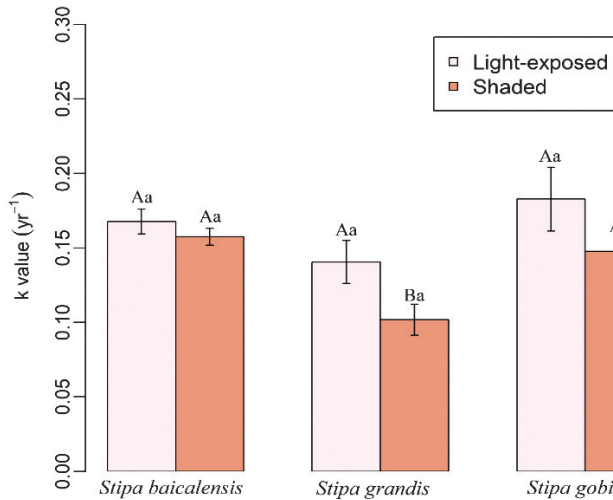


Зураг 4. *Stipa baicalensis*, *Stipa grandis* болон *Stipa gobica* зүйл ургамлуудын навчны массын алдагдлын хэмжээ туршилтын хувилбар, туршилтын хугацаа тус бүрээр. Жижиг үсгүүд зүйл тус бүрийн туршилтын хувилбар хоорондын мэдэгдэхүйц ач холбогдолтой ялгааг илэрхийлнэ ($p < 0.05$). Light-exposed – гэрэлтэй, Shaded – сүүдэрлэсэн.

Гурван зүйл хялганын навчны задралын хурд. Гурван зүйл хялганын навчны задралын хурд дээр туршилтын хувилбар, зүйлийг тогтмол хүчин зүйл болгон ашигласан хоёр хүчин зүйлт вариацийн анализын үр дүнгээс харахад туршилтын хувилбар ($p=0.013$) болон зүйл ($p=0.003$) хооронд статистикийн ач холбогдолтой ялгаа илэрсэн бол тэдгээрийн харилцан үйлчлэлийн нөлөө илрээгүй (Хүснэгт 3). Харин гурван зүйл хялганын навчны задралын хурдыг туршилтын хувилбар хооронд харьцуулж үзэхэд туршилтын гэрэлтэй хувилбарт зүйл хооронд ялгаа илрээгүй ч туршилтын сүүдэрлэсэн хувилбарт *Stipa grandis* зүйлийн навч хамгийн удаан задарсан байна (Зураг 5). Мөн гурван зүйл тус бүрийн навчны задралын хурд туршилтын гэрэлтэй болон сүүдэрлэсэн хувилбар хооронд ялгаагүй байна. Ерөнхийдөө навчны задралын хурдыг гурван зүйл хооронд харьцуулж үзэхэд *Stipa gobica*-ийн задрал илүү хурдтай явагдсан байна (Зураг 5).

Хүснэгт 3. Гурван зүйл хялганын навчны задралын хурд дээр туршилтын хувилбар, зүйлийг тогтмол хүчин зүйл болгон ашигласан хоёр хүчин зүйлт вариацийн анализ (two-way ANOVA)-ын үр дүн

Задралын хурд	Чөлөөний зэрэг	Квадратуудын нийлбэр	Квадратуудын дундаж	F утга	p утга
Туршилтын хувилбар (ТХ)	1	0.006	0.006	7.273	0.013
Зүйл (З)	2	0.012	0.006	7.567	0.003
ТХ × З	2	0.001	0.001	0.752	0.482



Зураг 5. *Stipa baicalensis*, *Stipa grandis* болон *Stipa gobica* зүйл ургамлуудын навчны задралын хурд (k values). Том үсгүүд туршилтын хувилбар тус бүр дээрх зүйл хоорондын ялгааг, жижиг үсгүүд зүйл тус бүрийн туршилтын хувилбар хоорондын мэдэгдэхүйц ач холбогдолтой ялгааг илэрхийлнэ ($p < 0.05$). Light-exposed – гэрэлтэй, Shaded – сүүдэрлэсэн.

Гурван зүйл хялганын навчны задралын хурд, навчны шинж чанар, ургамал ургалтын үеийн цаг уурын үзүүлэлт хоорондын хамаарал

Pearson-ы хамаарлын ggscorplot үр дүнгээс харахад *Stipa baicalensis* зүйлийн навчны задралын хурд нь ургамал ургалтын үеийн дундаж температуртай эерэг (GSAT; $r=0.48$) харин навчны талбайн хэмжээ (SLA; $r=-0.63$) болон навчны хуурай бодисын агууламжтай сөрөг (LDMC; $r=-0.56$) хамааралтай байна (Зураг 6a). Харин *Stipa grandis* зүйлийн хувьд навчны задралын хурд нь өмнөх зүйлээс эсрэгээрээ буюу навчны талбайн хэмжээ (SLA; $r=0.77$) болон навчны хуурай бодисын агууламжтай (LDMC; $r=0.89$) эерэг хүчтэй хамааралтай байна (Зураг 6b). Сонирхолтой нь *Stipa gobica* зүйлийн навчны задралын хурд нь навчны шинж чанар болон цаг уурын үзүүлэлтүүдтэй бүгдтэй нь эерэг болон сөрөг хамааралтай байна. Тухайлбал, ургамал ургалтын үеийн нийлбэр хур тунадас, агаарын дундаж температур, навчны N, K-ийн агууламж болон навчны зузаантай эерэг ($r=0.49-0.69$) харин навчны хуурай бодисын агууламж, навчны C, P-ын агууламжтай сөрөг ($r=-0.63$) хамааралтай байна (Зураг 6c).

Ерөнхийдөө *Stipa baicalensis*, *Stipa gobica* зүйлүүдийн навчны задралын хурдад ургамал ургалтын үеийн хур тунадас, температур чухал хүчин зүйл болж байна (Зураг 6).

задрал явагдсанаар харагдаж байгаа нь бидний судалгааны дээрх үр дүнтэй таарч байгаа юм.

Хуурай газрын экосистемийн ургамлын задрал нь нарны гэрлийн нөхцөл, температур эсвэл чийгээс хамаарч ургамал задрах орчин улирлын өөрчлөлттэй холбоотой байдгийг өмнөх судлаачид илрүүлсэн байна (Lin et al., 2015; Wang et al., 2015). Бидний судалгааны үр дүнгээс харахад Хялганын 3 зүйл ургамлын навчны массын алдагдал жилийн ургамал ургалтын үеийн хугацаанд буюу судалгааны 1 болон 2 дох жилд илүү их байгаа ба энэ хугацаанд нарны гэрлийн эрчим нэмэгдэж мөн хур тунадас орж задрах таатай нөхцөл бүрдсэн. Мөн өмнөх судлаачдын нэг жилийн судалгааны үр дүнгээс харахад зуны улиралд нарны гэрэлд өртсөн ургамлын навчны массын алдагдал нь сүүдэрлэсэн навчнаас хоёр дахин их байсан байна (Henry et al., 2008). Хур тунадасны градиентын дагуух өмнөх судалгаануудаас харахад хур тунадас буурах тусам газар дээрх ба доорх задралын харьцаа буурч байгааг харуулсан (Powers et al., 2009; Smyth et al., 2016) бөгөөд энэ нь ургамлын задралд үзүүлэх байршлын нөлөө нь магадгүй уур амьсгал, ургамлын шинж чанараас хамаардгийг харуулж байна (Erdenebileg et al., 2020).

Erdenebileg et al. (2018) болон Liu et al. (2018) нар ногоон навч болон хagdны анхны N ба C: N харьцаа, LDMC нь ургамлын шинж чанарыг илтгэх бөгөөд ургамлын задралын хурдыг тодорхойлдог ба бусад химийн шинж чанарууд нь задралд шууд бусаар нөлөөлж болохыг харуулсан. Мөн хуурай газрын ургамлын задралын процесст SLA гол нөлөөлөх хүчин зүйл болдог (Liu et al., 2018) гэсэн нь бидний судалгаанд *Stipa grandis* зүйлийн навчны задралын хурд нь навчны талбайн хэмжээ, хуурай бодисын агууламжтай эерэг хамааралтай байсан үр дүнтэй нийцэж байгаа юм (Зураг 6b).

Дүгнэлт

Гурван зүйл хялганын навчны задрал нь зүйл хооронд ялгаатай бөгөөд *Stipa gobica*-ийн навчны задралын хурд харьцангуй өндөр болохыг тогтоов. Мөн *Stipa gobica* зүйлийн навчны задралын хурд нь навчны шинж чанараас шууд болон шууд бус хамаарч байсан бол цаг уурын үзүүлэлтүүдтэй эерэг хүчтэй хамаарч байсан. Харин *Stipa baicalensis* зүйлийн хувьд навчны шинж чанараас сөрөг хамааралтай, *Stipa grandis* зүйл нь навчны шинж чанараас эерэг хүчтэй хамааралтай байна.

Ургамлын навчны задралд улирлын байдал нөлөөтэй бөгөөд 4-р сараас 10-р сарын хооронд задралын хэмжээ хамгийн өндөр байсан бол 11-р сараас 3-р сар хүртэл задралын хурд маш бага байв.

Талархал

Энэхүү судалгааг БШУЯ-ны захиалгаар ШУТ сангийн санхүүжилттэй гадаадтай хамтарсан төсөл /ШУГх/БНХАУ/-2019/28/ болон суурь судалгааны төслийн /ШУТБЦХХЗГ-2022/169/ хүрээнд хийж гүйцэтгэв. Хээрийн судалгааны ажил болон лабораторид дээж цэвэрлэх ажилд оролцсон Ургамалжлын экологи,

ургамлын эдийн засгийн лабораторийн хамт олондоо талархал илэрхийлье. Мөн туршилтад ашигласан ургамлын навчны дээжид макро-элементийн шинжилгээ хийсэн ЭША доктор (Ph.D) Ж.Аззаяа болон магистр (M.Sc) Г.Батзаяа нарт талархал илэрхийлье.

Эшилсэн бүтээл

- Austin AT., and Vivanco L. 2006. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. *Nature*. 442(7102): 555–558. <https://doi.org/10.1038/nature05038>
- Berg B., & Mcclaugherty C. 2008. Decomposition of Fine Root and Woody Litter. *Plant Litter*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74923-3>
- Bhatt SC., Sarat Babu GV., & Pandeya SC. 1985. Leaf-litter decomposition in arid to semi-arid climatic conditions. *Proceedings / Indian Academy of Sciences*. 95(6): 409–415. <https://doi.org/10.1007/BF03053679>
- Brandt LA., King JY., Hobbie SE., Milchunas DG. 2010. The Role of Photodegradation in Surface Litter Decomposition Across a Grassland Ecosystem Precipitation Gradient. *Ecosystems*. 13(5): 765-781. <https://doi.org/10.1007/s10021-010-9353-2>
- Chambers JM., Hastie TJ (eds.) 1992. *Statistical Models in S*. Chapman & Hall, London
- Cornelissen JHC., Lavorel S., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., et al. 2003. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*. 51: 335-380. <https://doi.org/10.1071/BT02124>
- Cotrufo MF., Ngao J., Marzaioli F., & Piermatteo D. 2010. Inter-comparison of methods for quantifying above-ground leaf litter decomposition rates. *Plant and Soil*. 334(1): 365–376. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0388-0>
- Couteaux MM., Bottner P., & Berg B. 1995. Litter decomposition climate and litter quality. *Trends in Ecology and Evolution*. 10(2): 63–66. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88978-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88978-8)
- Erdenebileg E., Ye XH., Wang CW., Huang ZY., Liu GF., Cornelissen JHC. 2018. Positive and negative effects of UV irradiance explain the interaction of litter position and UV exposure on litter decomposition and nutrient dynamics in a semi-arid dune ecosystem. *Soil Biology & Biochemistry*. 124: 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.06.013>
- Erdenebileg, E, Wang, C, Ye, X, et al. 2020. Multiple abiotic and biotic drivers of long-term wood decomposition within and among species in the semi-arid inland dunes: A dual role for stem diameter. *Functional Ecology*. 34: 1466–1478. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13559>
- Henry H a L., Brizgys K., & Field CB. 2008. Litter decomposition in a California annual grassland: Interactions between photodegradation and litter layer thickness. *Ecosystems*. 11(4): 545–554. <https://doi.org/10.1007/s10021-008-9141-4>
- Hooper DU., Vitousek PM. 1998. Effects of plant composition and diversity on

- nutrient cycling. *Ecological Monographs*. 68(1): 121–149. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1998\)068](https://doi.org/10.1890/0012-9615(1998)068)
- Kalbertji KL., Mamolos AP., & Kostopoulou S. 1997. Nutrient release from decomposing *Lotus corniculatus* residues in relation to soil pH and nitrogen levels. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 65(2): 107–112. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(97\)00064-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(97)00064-9)
- Kalbertji KL., Mosjidis JA., Mamolos AP. 1999. Litter dynamics of low and high tannin sericea lespedeza plants under field conditions. *Plant Soil*. 208: 271–281 <https://doi.org/10.1023/A:1004577624435>
- Kassambara A. 2020. <https://github.com/kassambara/ggpubr>
- King JY., Brandt LA., & Adair EC. 2012. Shedding light on plant litter decomposition: Advances, implications and new directions in understanding the role of photodegradation. *Biogeochemistry*. 111(1–3): 57–81. <https://doi.org/10.1007/s10533-012-9737-9>
- Koukoura Z., Mamolos AP., & Kalbertji KL. 2003. Decomposition of dominant plant species litter in a semi-arid grassland. *Applied Soil Ecology*. 23(1): 13–23. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(03\)00006-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(03)00006-4)
- Lin Y., King JY. 2014. Effects of UV exposure and litter position on decomposition in a California grassland. *Ecosystems* 17, 158–168. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9712-x>
- Liu H., Mi Zh., Lin L., Wang Y., Zhang Zh., Zhang F., Wang H., Liu L., Zhu B., Cao G., Zhao H., Sanders NJ., Classen AT., Reich PB., He JSh. 2018. Shifting plant species composition in response to climate change stabilizes grassland primary production. *Proceeding of the National Academy of Sciences*. 115(16): 4051–4056. <https://doi.org/10.1073/pnas.1700299114>
- Liu GF., Cornwell WK., Pan X., Ye D., Liu F., Huang Z., Dong M., Cornelissen JHC. 2015. Decomposition of 51 semidesert species from wide-ranging phylogeny is faster in standing and sand-buried than in surface leaf litters: implications for carbon and nutrient dynamics. *Plant and Soil*. 396: 175–187. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2595-1>
- 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>
- Meentemeyer V. 1978. Macroclimate the Lignin Control of Litter Decomposition Rates. *Ecology*. 59(3): 465. <https://doi.org/10.1890/08-2294.1>
- Moorhead D., & Sinsabaugh R. 2006. A Theoretical Model of Litter Decay and Microbial Interaction. *Ecological Monographs*. 76: 151–174. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(2006\)076\[0151:](https://doi.org/10.1890/0012-9615(2006)076[0151:)
- Moretto AS., Distel RA., & Didoné NG. 2001. Decomposition and nutrient dynamic of leaf litter and roots from palatable and unpalatable grasses in a semi-arid grassland. *Applied Soil Ecology*, 18(1): 31–37. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00151-2](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00151-2)

- Olsen JS., 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*. 44: 322–331. <https://doi.org/10.2307/1932179>
- Pancotto V., Sala OE., Cabello M., Lopez NI., Robsons TM., Ballare CL., & Caldwell MM. 2003. Solar UV-B decreases decomposition in herbaceous plant litter in Tierra del Fuego, Argentina: potential role of an altered decomposer community. *Global Change Biology*. 9PDF, 1465–1474. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00667.x>
- Parton W., Silver WL., Burke IC., Grassens L., Harmon ME., Currie WS., King JY., Adair EC., Brandt L. a, Hart SC., & Fasth B. 2007. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. *Science*. 315(5810): 361–364. <https://doi.org/10.1126/science.1134853>
- Powers JS., Montgomery R. a., Adair EC., Brearley FQ., Dewalt SJ., Castanho CT., Chave J., Deinert E., Ganzhorn JU., Gilbert ME., González-Iturbe JA., Bunyavejchewin S., Grau HR., Harms KE., Hiremath A., Iriarte-Vivar S., Manzano E., De Oliveira A. a., Poorter L., ... Lerdau M. T. 2009. Decomposition in tropical forests: A pan-tropical study of the effects of litter type, litter placement and mesofaunal exclusion across a precipitation gradient. *Journal of Ecology*. 97(4):801–811. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01515.x>
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- Ross DJ., Tate KR., Newton PCD., Clark H. 2002. Decomposition of C3 and C4 grass litter sampled under different concentrations of atmospheric carbon dioxide at natural CO2 spring. *Plant Soil*. 240: 275–286. <https://doi.org/10.1023/A:1015779431271>
- Smyth CE., Titus B., Trofymow JA., Moore TR., Preston CM., Prescott CE., & the CIDET Working Group. 2016. Patterns of carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in decomposing wood blocks in Canadian forests. *Plant and Soil*. 409:459–477. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2972-4>
- Swift MJ., Heal OW., Anderson JM. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*, Blackwell Scientific Publications, Oxford. <https://doi.org/10.1525/9780520407114>
- Vile D., Garnier E., Shipley B., Laurent G., Navas ML., Roumet C., Lavorel S., Díaz S., Hodgson JG., Lloret F., Midgley GF., Poorter H., Rutherford MC., Wilson PJ., Wright IJ. 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>
- Vitousek PM., Turner DR., Parton WJ., Sanford RL. 1994. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: patterns, mechanisms, and models. *Ecology*. 75: 418– 429. <https://doi.org/10.2307/1939545>
- Wang J., Liu L., Wang X., Chen Y., 2015. The interaction between abiotic photo-degradation and microbial decomposition under ultraviolet radiation. *Global Change Biology*. 21:2095–2104. <https://doi.org/10.1111/gcb.12812>

Effects of environmental factors on leaf litter decomposition of three species of *Stipa*

Tugsbayar Batzorig, Erdenebileg Enkhmaa*, Indree Tuvshhintogtokh

Botanical Garden, and Research Institute, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13330, Mongolia

*E-mail: enkhmaa_e@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0003-1345-5058>

Received: 31.05.2023

Revised: 09.10.2023

Accepted: 16.11.2023

Abstract: Plant litter decomposition plays an important role in carbon and nutrient cycling in terrestrial ecosystems. The influence of abiotic factors on the decomposition of plants in humid ecosystems is higher due to the favorable moisture conditions and the abundance of decomposer microorganisms. However, in arid and semi-arid ecosystems, plant litter decomposition is influenced by both abiotic and biotic factors, depending on sparse plant cover, high soil temperature, and low rainfall. The effects of environmental factors on leaf litter decomposition in arid and semi-arid Mongolian steppes are unclear. A field experiment was carried out in meadow steppe, typical steppe, and desert steppes of Mongolia to investigate the effect of environmental factors such as light-exposure, shade, and climate conditions on three species of *Stipa* (*Stipa baicalensis*, *Stipa grandis*, *Stipa gobica*) representing different litter qualities over a two year of incubation (6, 12, 18 and 24 months). The results of the study revealed that the leaf litter decomposition rate differed among the three species, in which *Stipa gobica* had a relatively high leaf litter decomposition rate. Also, the rate of leaf decomposition of *Stipa gobica* was directly and indirectly correlated with leaf traits, while it was positively correlated to climatic conditions ($r=0.55$). However, for *Stipa baicalensis*, was negatively correlated to leaf traits ($r=-0.56 - -0.63$) and on the contrary, *Stipa grandis* was strongly positively correlated to leaf traits ($r=0.68-0.89$). Seasonality has an effect on the leaf litter decomposition, with the highest decomposition rate occurring from April to October, while the decomposition rate was very low from November to March.

Keywords: *Stipa*, leaf litter decomposition, meadow steppe, typical steppe, desert steppe, light-exposed, shaded, leaf traits

© The Author(s). 2023 **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 the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.