

УРГАМЛЫН ФИЗИОЛОГИ

**Мүгээ (*Rhodiola L.*)-ийн хоёр зүйл ургамлын  
фотосинтезийн судалгаа**

Амарзориггийн Алтанцоож, Нэргүйн Хандмаа\*

Шинжлэх Ухааны Академи, Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэн, Улаанбаатар, 13330, Монгол улс

\*И-мэйл: [khandmaa\\_n@mas.ac.mn](mailto:khandmaa_n@mas.ac.mn), <https://orcid.org/0000-0002-6669-7213>

<https://doi.org/10.5564/mjb.v7i33.5382>

Хүлээн авсан: 31.05.2025

Хянасан: 01.10.2025

Хэвлэлтэнд: 03.11.2025

**Хураангуй.** Уур амьсгалын өөрчлөлт болон хүний үйл ажиллагааны нөлөө нь ургамлын олон янз байдалд сөргөөр нөлөөлж байгаа тул ургамлыг хамгаалах, тарималжуулах асуудлыг олон талаас нь судлах зайлшгүй шаардлагатай байна. Тиймд ШУА-ийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэнгийн цэцэрлэгийн талбайд тарималжуулсан *Rhodiola quadrifida* (Pall) Fish et. Mey., *Rhodiola rosea* L. гэсэн 2 зүйлийн олон наст өвслөг ургамлын фотосинтезийн онцлогийг илрүүлэх энэхүү судалгааг 2015 онд хийж гүйцэтгэсэн. Судалгаанд хамрагдсан ургамлуудын фотосинтезийн өдрийн явцыг дунджаар нь авч үзэхэд хоёр оройтой муруйгаар илэрхийлэгдэж байгаа бөгөөд өдөрт дунджаар *Rh. quadrifida* 11.1 мгСО<sub>2</sub>/г.цаг, *Rh. rosea* 10.6 мгСО<sub>2</sub>/г.цаг нүүрсхүчлийн хийг шингээж байна. Фотосинтезийн өдрийн эрчимийн дээд хэмжээ бодитой хэрэгжих чадвар (Фхч) *Rh. quadrifida*-д 49.7-74%, *Rh. rosea*-д 54.7-63.7% байна. Фотосинтез болон температурын хамаарлын муруй тэгш хэмтэй параболоор дүрслэгдсэн, *Rh. quadrifida* 20-32.5°C, *Rh. rosea* 22-35°C-ийн хоорондох температурт нүүрсхүчлийн хийг эрчимтэй шингээж байгаа нь температурын хамрах хүрээ өргөн, дулааны стресст тэсвэртэйг илтгэж байна. Энэхүү судалгаа нь *Rh. quadrifida*, *Rh. rosea* тухайн орчиндоо хэрхэн дасан зохицож байгааг илрүүлэхийн зэрэгцээ экофизиологийн судалгааны суурь мэдээлэл өгч байна.

**Түлхүүр үгс:** *Rhodiola quadrifida*, *Rhodiola rosea*, фотосинтезийн эрчим, температур, үд дундын бууралт

**Эшлэл авахдаа:** Алтанцоож А., Хандмаа Н. 2025. Мүгээ (*Rhodiola L.*)-ийн хоёр зүйл ургамлын фотосинтезийн судалгаа. Монголын ботаникийн сэтгүүл, 07 (33): 87-96.

**Удиртгал**

Ургамлын экофизиологийн судалгааг явуулах нь гадаад орчны өөрчлөлтөд ургамал хэрхэн хариу үйлдэл үзүүлж байгааг тайлбарлах, цаашлаад экологийн тэнцвэр хадгалах, бэлчээр ашиглалт, нөхөн сэргээлт, тухайн орчинд ургах чадвартай ургамлыг тодорхойлох, тарималжуулах, нутагшуулах боломжийг илрүүлэх зэрэг суурь чухал ач холбогдолтой. Экофизиологийн судалгааны суурь үзүүлэлтүүдийн нэг болох фотосинтезийн процесс нь ургах орчны өөрчлөлтөд хамгийн мэдрэмтгий бөгөөд физиологийн үйл ажиллагааг үнэлж болохуйц үндсэн үзүүлэлт юм (Слемнев, 1990). Түүнээс гадна ургах орчны нөхцлөөсөө хамаараад фотосинтезийн эрчим нь ургамлын зүйл бүрт харилцан адилгүй байдаг.

Монгол орны өндөр уулын бүслүүрийн хад, чулуут асга, горхины хайрга чулуут хөвөөгөөр ургадаг мугээийн төрлийн маш ховор, эмийн үнэт ургамал болох дөрөвлөсөн мугээ (*Rhodiola quadrifida* (Pall) Fish et. Mey), ягаан мугээ (*Rhodiola rosea* L.)-ийн фармакологийн идэвхийн судалгаа дэлхийн олон оронд маш өргөн хүрээнд хийгдсэн (Wiedenfled et al., 2007; Ихэрбаяр нар, 2018; Khokhlova and Zdoryk, 2019) боловч физиологийн судалгаа төдийлөн хангалттай хийгдээгүй байна. Иймд ШУА-ийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэнгийн Ботаникийн цэцэрлэгийн талбайд тарималжуулж буй дээрх хоёр зүйлийн фотосинтезийн онцлогийг илрүүлэх зорилгоор зүйл тус бүрийн фотосинтезийн өдрийн эрчмийн явцыг тогтоох, зүйлүүдийн фотосинтезийн эрчмийг хооронд нь харьцуулах, фотосинтезийн өдрийн эрчмийн дээд хэмжээ бодитой хэрэгжих чадвар (Фхч), фотосинтез явагдах тохиромжтой оптимал температурыг тус тус үнэлэх зорилтуудын хүрээнд энэхүү судалгааг хийж гүйцэтгэсэн.

### Судалгааны материал, аргазүй

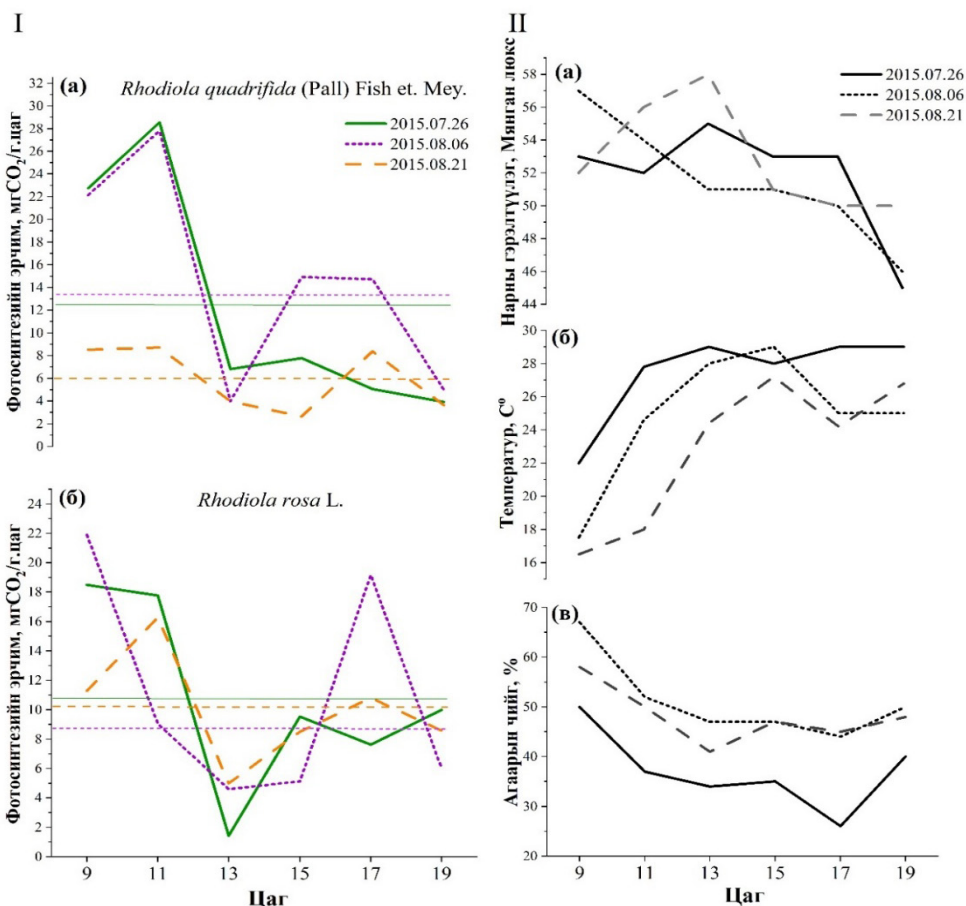
Энэхүү судалгаанд ШУА-ийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэнгийн “Ботаникийн цэцэрлэг”-ийн талбайд тарималжуулсан эмийн ашигт, ховор ургамал болох мугээ (*Rhodiola* L.)-ийн төрлийн дөрөвлөсөн мугээ (*Rhodiola quadrifida* (Pall) Fish et. Mey), ягаан мугээ (*Rhodiola rosea* L.) гэсэн 2 зүйлийг сонгон фотосинтезийн эрчмийг 2015 оны VI, VIII сард 3 удаа, 9-19 цагийн хооронд 2 цагийн интервалтайгаар тодорхойлсон.

Фотосинтезийн өдрийн эрчмийг ОХУ-ын ШУА-ийн В.Л.Комаровын нэрэмжит Ботаникийн хүрээлэнгийн фотосинтезийн экологийн лабораторид боловсруулсан радиометрийн аргаар, фотосинтезийн өдрийн эрчим дээд хэмжээ бодитой хэрэгжих чадварыг (Фхч) Н.Н.Слемневийн (1988) аргаар, фотосинтез эрчимтэй явагдах тохиромжтой буюу оптимал температурыг (Тopt) ботаникийн цэцэрлэгийн нөхцөлд 5-500С хүртэл температурын зохиомол орчин үүсгэн фотосинтезийн эрчмийг хэмжин фотосинтезийн эрчмийн дээд хэмжээний 80%-иар бодож тус тус үнэлсэн. Гэрэлтүүлгийн хэмжээг люкс метрээр, агаарын температур болон чийгшлийг психрометрээр тус тус хэмжив. Судалгаанд хамрагдсан ургамлуудын фотосинтезийн эрчмийн ялгааг вариацийн анализын t-test ашиглан шалгасан. Статистик боловсруулалтыг SPSS 21 программ дээр хийж гүйцэтгэв.

### Судалгааны үр дүн

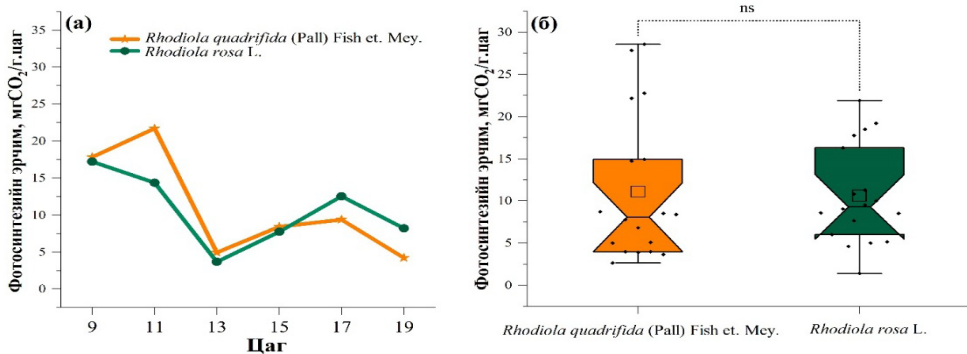
*Rh. quadrifida* болон *Rh. rosea*-ын фотосинтезийн өдрийн явц нь (Зураг 1.1) судалгаа хийгдсэн өдрийн агаарын температур, агаарын чийг, гэрэлтүүлгээс (Зураг 1.2) хамаараад харилцан адилгүй байгаа хэдий ч фотосинтезийн эрчим ерөнхийдөө 9-11 цагийн хооронд өндөр байснаа үд дунд 13-15 цагийн хооронд огцом буурч аажмаар буцаж өсөөд 19 цагийн үед эргээд буурсан хоёр оройтой муруйгаар илэрхийлэгдэж байна. 7-р сарын 26, 8-р сарын 6-нд *Rh. quadrifida*-ын фотосинтезийн өдрийн эрчим ойролцоо буюу 9-11 цагийн хооронд хамгийн өндөр (22.1-28.6 мгСО<sub>2</sub>/г.цаг), үд дундын бууралт 13-15 цагийн хооронд (2.6-7.8

мгСО<sub>2</sub>/г.цаг) буурсан байна. Энэхүү үр дүнгээр *Rh.quadrifida* болон *Rh.rosa*-ын фотосинтезийн өдрийн эрчим үд дунд огцом буурсан нь нэг талаас гэрэлтүүлэг ихэссэнээр фотосинтезийн эрчмийг дэмжих үйл явц, нөгөө талаас ууршилт нэмэгдсэний улмаас ургамал навчны амсраа хааж, фотосинтезийг бууруулах гэсэн хоёр хүчин зүйлийн хам нөлөө юм. Харин 8-р сарын 21-нд фотосинтезийн өдрийн эрчим илэрхий бага буюу 8.4-2.7 мгСО<sub>2</sub>/г.цаг байна (Зураг 1. I-a). Энэ нь тухайн өдрийн температур (8-р сарын 21) бусад өдрүүдийн (7-р сарын 26, 8-р сарын 6) температураас бага (Зураг 1. II-б) байгаатай холбоотой байх боломжтой. 8-р сарын 6-нд *Rh.rosa*-ын фотосинтезийн эрчим 9 (21.9 мгСО<sub>2</sub>/г.цаг) болон 17 (19.2 мгСО<sub>2</sub>/г.цаг) цагуудад хамгийн өндөр байсан хэдий ч өдрийн турш дунджаар 8.8 мгСО<sub>2</sub>/г.цаг нүүрсхүчлийн хий шингээсэн байна. Харин бусад өдрүүдэд (7-р сарын 26, 8-р сарын 6) 10.8 болон 10.1мгСО<sub>2</sub>/г.цаг нүүрсхүчлийн хий шингээсэн байна (Зураг 1. I-б).



**Зураг 1.** I - Фотосинтезийн өдрийн явц ургамал тус бүрээр (а- *Rhodiola quadrifida* (Pall) Fish et. Mey., б- *Rhodiola rosa* L.); II- Орчны үзүүлэлтүүд ( а-гэрэлтүүлэг, б- агаарын температур, в- агаарын чийг); Хөндлөн шулуун зураас - Фотосинтезийн эрчмийн өдрийн дундаж

Судалгаанд хамрагдсан зүйлүүдийн фотосинтезийн эрчмийн өдрийн явцад өөрчлөгдөх зүй тогтол нь хоёр оройтой муруйгаар илэрхийлэгдэж байсан. Түүнчлэн *Rh. quadrifida*-ын фотосинтезийн эрчмийн дээд хэмжээ 11 цагт байсан бөгөөд өдөр дундын үзүүлэлтийг нь өглөөний эрчимтэй харьцуулбал 56.7%-иар, *Rh. rosa*-д дээрх үзүүлэлт 27.2%-иар тус тус буурсан байна (Зураг 2а). Энэхүү ургамлуудын фотосинтезийн эрчмийн хооронд илэрхий ялгаа байхгүй ( $p < .310$ ) бөгөөд *Rh. quadrifida* өдөрт дунджаар 11.1  $\text{mgCO}_2/\text{г.цаг}$ , *Rh. rosa* 10.6  $\text{mgCO}_2/\text{г.цаг}$  нүүрсхүчлийн хий тус тус шингээж байна (Зураг 2б).



**Зураг 2.** Судалгаанд хамрагдсан ургамлуудын фотосинтезийн эрчмийн ялгаа (а)- Фотосинтезийн эрчмийн өдрийн явцыг харьцуулсан; (б)-Фотосинтезийн эрчмийг бүх хэмжилтээр харьцуулсан; ns- not significant

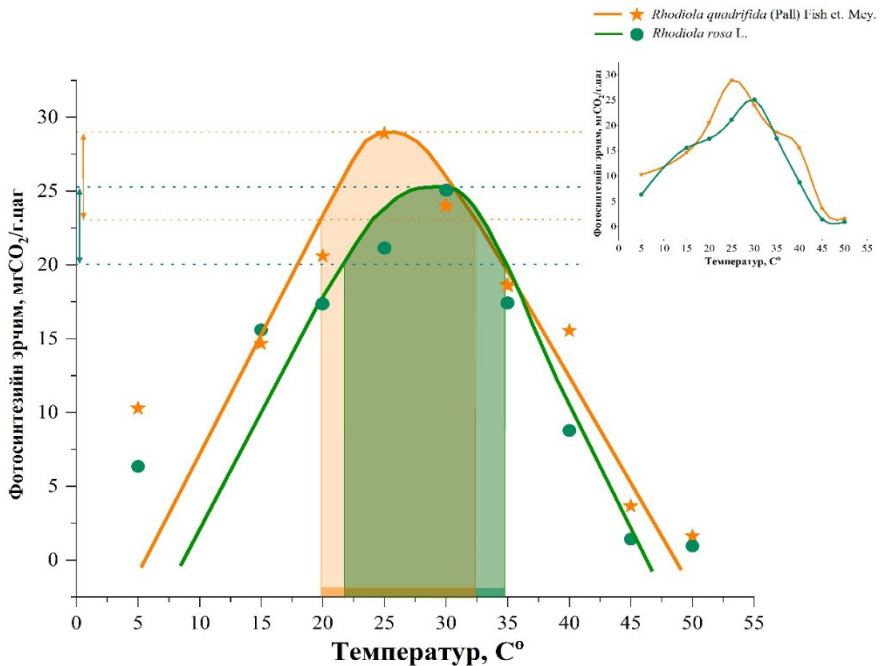
Фотосинтезийн өдрийн эрчмийн дээд хэмжээ бодитой хэрэгжих чадвар (Фхч) нь хэдий өндөр (100%-д ойртох тусам) байна төдий чинээ фотосинтезийн үйл ажиллагаа хэвийн тогтвортой явагдах бөгөөд  $\text{CO}_2$  -ийг нийлэгжүүлэх эрчим болон өдөр дундын бууралтын үзүүлэлтэд үндэслэн фотосинтезийн өдрийн явцад үнэлгээ өгдөг. Фотосинтезийн өдрийн эрчмийн дээд хэмжээ бодитой хэрэгжих чадвар нь *Rh. quadrifida*-д 49.7-74%, *Rh. rosa*-д 54.7-63.7% байгааг тогтоосон (Хүснэгт 1).

**Хүснэгт 1.** Судалгаанд хамрагдсан ургамлуудын фотосинтезийн өдрийн эрчим( $\text{mgCO}_2/\text{г.цаг}$ ) ба фотосинтезийн өдрийн эрчмийн дээд хэмжээ бодитой хэрэгжих чадвар (Фхч)

Ургамлын нэр	7-р сарын 26		8-р сарын 6		8-р сарын 21	
	$\text{mgCO}_2/\text{г.цаг}$	Ф х ч , %	$\text{mgCO}_2/\text{г.цаг}$	Ф х ч , %	$\text{mgCO}_2/\text{г.цаг}$	Ф х ч , %
<i>Rh. quadrifida</i>	28.6	49.7	27.8	60.1	8.7	74
<i>Rh. rosa</i>	18.5	59.3	21.9	54.7	16.3	63.7

Температур нь ургамлын физиологид нөлөөлдөг хүрээлэн буй орчны хамгийн чухал хүчин зүйлүүдийн нэг бөгөөд фотосинтезийн үйл ажиллагаа, ялангуяа тааламжгүй температураас үүдэлтэй стресст мэдрэмтгий байдаг (Berry

and Björkman, 1980; Georgieva, 1999). Судалгаанд хамрагдсан ургамлуудын фотосинтезийн эрчим температураас хамаарах хамаарал нь нэлээд төстэй байгаа бөгөөд температур нэмэгдэх тутам фотосинтезийн эрчим нь нэмэгдэж байснаа тодорхой температурт хүрээд буцаж буурахдаа тэгш хэмт парабол үүсгэсэн байна. *Rh. quadrifida*-ын фотосинтезийн эрчим өндөр явагдах оптимал температур 20-32.50C-ийн хооронд буюу 23.1-28.9 мгCO<sub>2</sub>/г.цаг нүүрсхүчлийн хий, харин *Rh. rosa*-д 22-350C-ийн хооронд буюу 20-25.1 мгCO<sub>2</sub>/г.цаг нүүрсхүчлийн хий шингээж байна (Зураг 3). Тэгш хэмт парабол үүсгэснээс харахад эдгээр зүйлүүд нь температурын өргөн хэлбэлзэлд фотосинтезээ явуулдаг бөгөөд температурын өөрчлөлтөд мэдрэг бус буюу дулааны стресст гэсвэртэйг харуулж байна.



**Зураг 3.** Судалгаанд хамрагдсан ургамлуудын фотосинтезийн эрчим ба температурын хамаарал  
Хөндлөн тасархай болон сумтай босоо зураасууд - Оптимал температурт нүүрсхүчлийн хийг шингээх хэмжээ, мгCO<sub>2</sub>

### Хэлэлцүүлэг

Дэлхийд зузаалай (*Crassulaceae*)-н овгийн 40 орчим төрөлд багтах ойролцоогоор 1400 зүйл сөөг, сөөгөнцөр, өвслөг ургамал хүйтэн сэрүүн бүсээс тропик хүртэл тархдагаас (Оюунгэрэл, 2006; Smith et al., 2019) Монгол оронд энэ овгийн 5 төрлийн 16 зүйл ургана (Өлзийхутаг, 1985; Грубов, 2008). Үүнд хамаарагдах *Rhodiola* төрлийн *Rh. quadrifida*, *Rh. rosea* зүйлүүд нь олон наст

өвслөг, хуурай нөхцөлд ургах чадвар өндөртэй суккулент ургамал юм. Эдгээр зүйлүүд нь эмчилгээний ач холбогдол ихтэй (Санчир, 2021). *Rh. quadrifida* нь маш ховор, ашиглалтад өртөмтгий эмзэг (Ургамал нар, 2024) ургамал юм. Зарим суккулент ургамлууд “индукцлэгддэг САМ (Crassulacean Acid Metabolism)” фотосинтезтэй гэж тодорхойлсон байдаг. Эдгээр ургамлууд нь ердийн үед  $C_3$  эсвэл  $C_4$  фотосинтезийн замыг ашигладаг боловч, усны хомсдол, өндөр гэрэл, давсны агууламж ихсэх зэрэг стрессийн нөхцөлд САМ замыг идэвхжүүлэн, шөнө  $CO_2$ -ийг шингээж, шөнийн туршид хадгалсан хүчиллэг нэгдлүүдийг өдөр ашиглан фотосинтезийн процессоо явуулан орчны нөхцөлд дасан зохицох, амьдрах чадвараа нэмэгдүүлдэг (Lee and Griffiths, 1987; Gravatt and Martin, 1992; Sayed, 2001).

Монгол оронд хийгдсэн фотосинтезийн судалгаагаар голын татмын ба хуурай газрын нуга, хээр, хуурай хээрийн ургамлуудад фотосинтезийн эрчим үд дунд буурдаг (хоёр оройт муруй үүсгэдэг) зүй тогтол түгээмэл ажиглагдсан байна (Цоож, 2013). Бидний судалгааны үр дүнгээр дөрвөлсөн мүгээ (*Rh. quadrifida*) болон ягаан мугээ (*Rh. rosa*)-ний фотосинтезийн өдрийн эрчим үд дунд огцом буурсан нь нэг талаас гэрэлтүүлэг ихэссэнээр фотосинтезийг дэмжих үйл явц, нөгөө талаас ууршилт нэмэгдсэний улмаас ургамал навчны амсраа хааж фотосинтезийг бууруулах хоёр хүчин зүйлийн хам нөлөө юм. Нарны гэрлийн нөлөөгөөр навчны амсар нээгдэж, агаар дахь  $CO_2$ -ийг шингээх замаар фотосинтез эрчимтэй явагдаж, ус ууршуулах боломжийг бүрдүүлдэг. Гэрэлтүүлэг, температур нэмэгдэхийн хэрээр агаар дахь чийгшлийн хэмжээ багасаж, навчны доторх чийг их байх үед ууршилтын даралтын зөрүү үүсдэг. Энэ үед ууршилт эрчимтэй явагдах учраас ургамал усны алдагдлыг багасгахын тулд навчны амсраа хаадаг. Үүний улмаас үд дундын их халалтын үед навчны хий солилцоо буурдаг. Фотосинтезийн өдрийн эрчмийн үд дундын бууралт нь зөвхөн хуурай бүс нутгуудад биш, харин чийглэг, сэрүүн уур амьсгалтай бүсүүдэд ч мөн ажиглагддаг (Iio et al., 2004; Koyama and Takemoto, 2014).

Фотосинтезийн өдрийн эрчмийн дээд хэмжээ бодитой хэрэгжих чадвар (Фхч) нь нүүрсхүчлийн хийг ассимиляцлах үйл явцад орчны нөхцөл хэр зэрэг тохиромжтой болон түүнд ургамлын дасан зохицох чадвар, эрчмийн өдөр дундын бууралтын түвшин, тухайн зүйл ургамлын фотосинтезийн өдрийн явцын онцлогийг илрүүлэх боломжийг олгодог. Татмын нугад зонхилох ургамлуудын Фхч дунджаар 53-74%, хуурай хээрт 54-90%, цөл, цөлөрхөг хээрт 37-72% буюу фотосинтезийн эрчим өдрийн турш жигд явагдахгүй байгааг харуулж байна (Цоож, 2013). Бидний судалгаагаар фотосинтезийн өдрийн эрчмийн дээд хэмжээ бодитой хэрэгжих чадвар нь *Rh. quadrifida*-д 49.7-74%, *Rh. rosa*-д 54.7-63.7% буюу 100%-даа хүрч фотосинтезээ жигд явуулахгүй байгаа нь үд дундын халалтын улмаас навчны амсрын эс бүрэн юм уу хэсэгчлэн хаагдаж, нүүрсхүчлийн хийн шингээлт буурахын зэрэгцээ транспирацийн эрчим багасаж, усаа алдахаас хамгаалахтай холбоотой гэж үзэж байна.

Фотосинтезийн эрчим нь температураас хамаарах хариу урвалыг парабол муруйгаар хамгийн оновчтой дүрслэн фотосинтезийн эрчмийг хязгаарладаг болон фотосинтезийн эрчимд хамгийн тохиромжтой температурыг тус тус

тодорхойлдог (Berry and Björkman, 1980). Энэхүү муруй нь байгаль цаг уур, ургах орчны нөхцөл, фотосинтезийн ямар замыг ашигладаг гэх зэргээс хамаараад парабол муруй нь тэгш хэмтэй эсвэл баруун, зүүн тийш налалттай байдаг (Oberhuber and Edwards 1993; Kubien and Sage 2004; Osborne et al., 2008). Монгол орны ургамалжлын үндсэн бүсүүдэд энэ чиглэлийн судалгааг 1980 оноос анх хийж эхэлсэн. Цөлийн ургамлуудын фотосинтезийн тохиромжтой температур 25-350C, хуурай хээр, татмын нугын ургамлуудад фотосинтез явуулах тохиромжтой температур 20-250C байсан байна. Фотосинтезэд тохиромжтой температур нэлээд өргөн хүрээнд ажиглагдаж байвал халуунд зохицох чадвар сайтай ургамлууд юм (Цоож, 2013). Үүнээс гадна абиотик хүчин зүйлийн нөлөөгөөр тухайн зүйл ургамлын фотосинтезийн эрчим ба температурын хамаарлын парабол муруй нь баруун эсвэл зүүн тийш шилждэг (Iio et al., 2004; Цоож, 2013; Koyama and Takemoto, 2014). Бидний судалгаанд хамрагдсан ургамлуудад фотосинтезийн эрчим болон температурын хамаарлын муруй тэгш хэмтэй парабол байсан бөгөөд *Rh. quadrifida*-д 20-32.50C, *Rh. rosa*-д 22-350C-ийн хоорондох температурт нүүрсхүчлийн хийг эрчимтэй шингээж байна. Тиймээс эдгээр ургамлууд нь температурын өөрчлөлтөд мэдрэг бус, дулааны стресст тэсвэртэйг илтгэж байна.

### Дүгнэлт

Судалгааны үр дүнгээр дөрвөлсөн мөгээ (*Rh. quadrifida*) болон ягаан мөгээ (*Rh. rosa*)-ний фотосинтезийн эрчмийн өдрийн явц өөрчлөгдөх зүй тогтол төстэй байсан бөгөөд үд дундын бууралттай, өдөрт дунджаар 11.1 мгСО<sub>2</sub>/г.цаг, 10.6 мгСО<sub>2</sub>/г.цаг нүүрсхүчлийн хийг тус тус шингээж байна. Фотосинтезийн өдрийн эрчмийн дээд хэмжээ бодитой хэрэгжих чадвар нь *Rh. quadrifida* д 49.7-74%, *Rh. rosa* д 54.7-63.7% байгаа нь фотосинтезийн өдрийн эрчим жигд бус нүүрсхүчлийн хийн шингээлт буурахын зэрэгцээ транспирацийн эрчим багасаж, усаа алдахаас хамгаалах зохилдологоотой холбоотой юм. Үүнээс гадна *Rh. quadrifida* 20-32.50C, *Rh. rosa* 22-350C-ийн хоорондох температурт нүүрсхүчлийн хийг эрчимтэй шингээж байна. Тиймээс эдгээр ургамлуудын фотосинтезийн эрчим төстэй, температурын өөрчлөлтөд мэдрэг бус буюу дулааны стресст тэсвэртэйг илтгэж байна.

### Талархал

Энэхүү судалгааны ажлыг ШУА-ийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэнгийн санхүүжилт, дэмжлэгээр хийсэн бөгөөд Ургамлын экофизиологийн салбар, Ботаникийн цэцэрлэгийн хамт олондоо гүнээ талархал илэрхийлье.

### Эшилсэн бүтээл

- Грубов В. И. 2008. Монголын гуурст ургамал таних бичиг УБ.
- Ирэхбаяр Ж., Шатар С., Алтанцэцэг Ш. 2018. Монгол орны Ягаан мугээ (*Rhodiola rosea* L.) ургамлын эфирийн тосны химийн бүрэлдэхүүн, исэлдэлт ба хавдрын эсрэг идэвхийн судалгаа. Хими, химийн технологийн хүрээлэнгийн бүтээл, 6: 87-91.
- Оюунгэрэл Ш. 2006. Монголд САМ фотосинтезтэй ургамал илрүүлэх, түүний орчны нөхцөлд дасан зохицох механизм (*Orostachys spinosa* L.-ийн жишээн дээр). Биологийн ухааны докторын зэрэг (Ph.D.) горилсон бүтээл, МУИС, 182.
- Өлзийхутаг Н. 1985. Бүгд найрамдах Монгол ард улсын бэлчээр, хадлан дахь тэжээлийн ургамал таних бичиг. УБ.
- Санчир Ч. 2021. Ургамлын нэвтэрхий толь. Улаанбаатар: Монсудар. 243-245.
- Слемнев Н.Н. 1988. Фотосинтез сухие степи МНР. ч2: Стационарные исследования (сомон Унджул). Л: Наука. 6-31.
- Слемнев Н.Н. 1990. Экология фотосинтеза в связи с закономерностями жизнедеятельности растений степей и пустынь Монголии. Автореф. дисс. доктора биол.наук, Ленинград.-36.
- Ургамал М., Гүндэгмаа В., Оюунцэцэг Б., Амартүвшин Н., Мөнх-Эрдэнэ Т., Солонго Х., Саруул Н., Жавзандолгор Ч., Цэгмэд З. 2024. Бүлэг: Гуурст ургамал. Монгол орны ургамлын улаан данс. Дөрөвдүгээр цуврал. Бүс нутгийн улаан данс. Боть 13. Байгаль орчин, уур амьсгалын өөрчлөлтийн яам, ШУА-ийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэн, Монгол Улсын Их Сургууль.
- Цоож Ш. 2013. Монгол орны байгалийн бүсэд зонхилох ургамлын фотосинтез. Улаанбаатар: Бэмби сан.
- Berry J., Bjorkman O. 1980. Photosynthetic Response and Adaptation to Temperature in Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 31(1): 491–543. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.002423>
- Georgieva K. 1999. Some mechanisms of damage and acclimation of the photosynthetic apparatus due to high temperature. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 25 (3/4): 89-99.
- Gravatt D. A., Martin C. E. 1992. Comparative ecophysiology of five species of *Sedum* (Crassulaceae) under well-watered and drought-stressed conditions. *Oecologia*, 92(4):532–541. <https://doi.org/10.1007/BF00317845>
- Iio A., Fukasawa H., Nose Y., Kakubari Y. 2004. Stomatal closure induced by high vapor pressure deficit limited midday photosynthesis at the canopy top of *Fagus crenata* Blume on Naeba mountain in Japan. *Trees*. 18: 510–517.
- Khokhlova K., Zdoryk O. 2019. Authentication of *Rhodiola rosea*, *Rhodiola quadrifida* and *Rhodiola rosea* liquid extract from the Ukrainian market using HPTLC chromatographic profiles. *Natural product research*. 34(19): 1-5.
- Koyama K., Takemoto Sh. 2014. Morning reduction of photosynthetic capacity before midday depression. *Scientific reports*, 4(4389): 1-6. <https://doi.org/10.1038/srep04389>

- Kubien D. S., Sage R. F. 2004. Low-temperature photosynthetic performance of a C4 grass and a co-occurring C3 grass native to high latitudes *Plant. Cell and Environment*, 27: 907–916.
- Lee H. S. J., Griffiths H. 1987. Induction and Repression of CAM in *Sedum telephium* L. in Response to Photoperiod and Water Stress. *Journal of Experimental Botany*, 38(5), 834–841. <https://doi.org/10.1093/jxb/38.5.834>
- Oberhuber W., Edwards G.E. 1993. Temperature dependence of the linkage of quantum yield of Photosystem II to CO<sub>2</sub> fixation C4 and C3 plants. *Plant Physiology*, 101: 507–512.
- Osborne C.P., Wythe E.J., Ibrahim D.G., Gilbert M.E., Ripley B.S. 2008. Low temperature effects on leaf physiology and survivorship in the C3 and C4 subspecies of *Alloteropsis semialata*. *J Exp Bot*, 59:1743-1754.
- Sayed O. H. 2001. Crassulacean Acid Metabolism 1975–2000, A Check List *Photosynthetica*, 39(3): 339–352. <https://doi.org/10.1023/A:1020292623960>
- Smith G. F., Figueiredo E., Wyk A. E. 2019. Crassulaceae of the World. *Kalanchoe* (Crassulaceae) in Southern Africa, 5–16. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00602-X>
- Wiedenfeld H., Dumaa M., Malinowski M., Furmanowa M., Narantuya S. 2007. Phytochemical and analytical studies of extracts from *Rhodiola rosea* and *Rhodiola quadrifida*. *Pharmazie*, 62(4): 308–311.

## Study of photosynthesis in two species of the genus *Rhodiola* L.

Amarzorigt Altantsooj, Nergui Khandmaa\*

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

\*E-mail: [khandmaa\\_n@mas.ac.mn](mailto:khandmaa_n@mas.ac.mn), <https://orcid.org/0000-0002-6669-7213>

---

Received: 31.05.2025

Revised: 01.10.2025

Accepted: 03.11.2025

---

**Abstract:** As climate change and human activities are negatively affecting plant diversity, it is essential to study plant conservation and cultivation from multiple perspectives. Therefore, in 2015, we investigated the photosynthetic characteristics of two perennial herbaceous plant species - *Rhodiola quadrifida* (Pall.) Fisch. et Mey. and *Rhodiola rosea* L. - cultivated in the experimental garden plots of the Botanical Garden, Institute of Botany, Mongolian Academy of Sciences. The diurnal course of photosynthetic intensity in the studied plants showed a bimodal curve on average. *Rh. quadrifida* absorbed an average of 11.1 mg CO<sub>2</sub>/g.h per day, while *Rh. rosea* absorbed 10.6 mg CO<sub>2</sub>/g.h. The actual photochemical efficiency (APE) during peak photosynthetic intensity ranged from 49.7% to 74% for *Rh. quadrifida* and 54.7–63.7% for *Rh. rosea*. The temperature–photosynthesis relationship was represented by a symmetric parabolic curve, with *Rh. quadrifida* absorbing CO<sub>2</sub> most intensively between 20–32.5°C and *Rh. rosea* between 22–35°C, indicating a wide thermal range and high tolerance to heat stress. This study offers insights into the adaptive responses of *Rh. quadrifida* and *Rh. rosea* to their local environment, providing a baseline for future ecophysiological studies.

**Keywords:** *Rhodiola quadrifida*, *Rhodiola rosea*, photosynthetic intensity, temperature, midday depression

---

© 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.