



ХӨРСӨН ДЭХ ФЕРМЕНТИЙН ҮҮРЭГ

Ж.Баярмаа*, Д.Пүрэв

Байгалийн ухааны салбар, Шинжлэх Ухааны Сургууль, МУИС, Улаанбаатар, Монгол Улс

*Холбоо барих хаяг: bayarmaa@num.edu.mn

ХУРААНГУЙ

Хөрсний фермент нь хөрсний физик, хими, биологийн шинж чанартай нягт холбоотой бөгөөд бүрэлдэхүүн хэсэг нь болно. Хүний үйл ажиллагаа, газар тариалан, экосистемийн өөрчлөлт, орчны бохирдол зэрэг нь хөрсөн дэх ферментийн идэвх, байх эсэхэд асар ихээр нөлөөлдөг. Гарал үүслээсээ хамааран хөрсний ферментүүд хөрсөн дэх урт болон богино хугацааны өөрчлөлтөнд үнэлгээ өгөхөд хэрэглэгдэж байна. Хөрсний чанарт нөлөөлдөг антропоген болон орчны хүчин зүйлүүдийн ихэнх хөрсний физик химийн шинж чанарыг судлахад чиглэгддэг ч хөрсний орчны өөрчлөлтөд илүү мэдрэмтгий хөрсний ферментэд анхаарлаа хандуулах цаг нь болсон байна.

ТҮЛХҮҮР ҮГС: Хөрс, биологийн процессын эрчим, индикатор, фермент

ОРШИЛ

Хөрс нь улс орнуудын үнэт баялаг бөгөөд тухайн улсын эдийн засгийн чухал бүрэлдэхүүн хэсэг болох тул ямар ч улс оронд өөрийн орны хөрсний судалгааг тогтмол явуулдаг. Хурдсын элэгдэл, амьд организмын үйл ажиллагааны үр дүнд органик бодисын хуримтлал явагдан ургамлыг ус, агаар, шим тэжээлийн бодисоор тасралтгүй хангах хөрсний чадвар буюу хөрсний үржил шим бүрэлдэн бий болдог. Хөрсний үржил шимд физик (хөрсний өнгө, үе давхарга, бүтэц, сүвэрхэг шинж, нягтшил, ширхэгийн бүрдэл, эрдэс хэсэг зэрэг), хими (хөрсний рН, химийн бүрдэл, ашиглагдах азот, фосфор, ус зэрэг), биологийн үзүүлэлтүүдийг хамааруулдаг ба биологийн үзүүлэлтэд хөрсний ялзмагийн агууламж, биологийн идэвх, өвчин үүсгэгч болон хортон шавьжийн агууламж багтана. Гадны орнуудад хөрсний үржил шимийг хөрсөнд явагдах биологийн процессын эрчмээр нь үнэлэх боломжийг эрэлхийлэх судалгааны ажлууд хийгдэж ирсэн. Энэ хүрээнд судлаачдын зүгээс хөрсний ферментийн идэвхийг ашиглах боломжийг эрэлхийлэх болсон нь хөрсөнд тогтмол нийлэгжиж, хуримтлагдаж, идэвхгүйжиж, мөн задарч хөрсний шим тэжээлийн бодисын эргэлтэнд онцгой үүрэг гүйцэтгэдэгтэй нь шууд холбоотой. Үүний үр дүнд хөрсний энзимологи хэмээх хөрс судлал, энзимологийн шинжлэх ухааны дундаас үүссэн шинжлэх ухааны нэг салбар хөгжих боллоо. Хөрсний ферментийн эх үүсвэр нь ургамал, амьтан, микроорганизм юм.

Эдгээрт нийлэгжсэн ферментүүд хөрсөнд ялгарснаар хөрсний хэсгүүдтэй холбогдон, идэвхээ алдалгүй тогтвортой хадгалагдаж хөрсөнд явагдах биохимийн процессуудад оролцон хөрсний физик-хими, биологийн шинж чанарт нөлөөлж, бүрэлдэхүүн хэсэг нь болдог [1]. Хөрсний тэжээлийн бодисын эргэлт, органик бодисын хуримтлал, органик хаягдлын задрал, хөрсний бүтцийн тогтворжилт болон хөрсөн дэх микроорганизмын амьдралын процессууд болон урвалуудад чухал үүрэг гүйцэтгэн оролцдог. Хөрсний ферментийн идэвх хөрсний чийг, рН, хүнд металлын агууламж, ургаж буй ургамлын вегетацийн хугацаа, цаг уурын өөрчлөлт, түймэр, газар ашиглалт, бордоо болон пестицид зэрэгт маш мэдрэг ба идэвхийг нь хэмжихэд хялбар, хөрсөнд явагдах дээрх өөрчлөлтүүдэд түргэн хариу үзүүлдэг [2]. Иймд хөрсний ферментийн идэвхийг экосистемийн болон хөрсний бохирдлын судалгаа, хөрсний үржил шимийг үнэлэх, хөрсний хэлбэр ба элэгдлийг тодорхойлох, газар тариалан, газар ашиглалтын нөлөөллийн судалгаанд, тухайлбал, агротехникийн ажиллагаа болон бордооны үр нөлөөллийн үнэлгээнд өргөн ашиглаж байна [3]. Хөрсөнд анх судлагдсан фермент бол каталаза юм (Woods, 1899) [4]. Купревич, Щербакова (1956, 1971) [5], Beck (1971) нар энэхүү ферментийн идэвхийг ферментэт урвалын дүнд үүсэх хүчилтөрөгчийн хэмжээгээр, Baroccio (1958), Johnson болон

Temple (1964) нар урвалд оролгүй үлдсэн H_2O_2 -ийн хэмжээгээр тус тус тодорхойлох аргуудыг боловсруулснаар хөрсний ферментийн судалгаа өрнөж эхэлсэн байдаг [6]. Хөрсөнд ялгарах ферментийн үйлчлэх оптимум рН-ийн утга эх үүсвэрээсээ хамаарч өөр өөр байдаг. Тухайлбал, бактерийн гаралтай ферментийн

pH_{opt} -утга саармаг, сул шүлтлэг орчинд байх бол мөөг, ургамлын гаралтай ферментийн pH_{opt} -утга хүчиллэг байхаас гадна тухайн ферментээс мөн хамаардаг. Жишээ нь полисахарид задлагч бактери, мөөгний гаралтай ферментийн pH_{opt} -утга хүчиллэг орчинд байдаг [7].

Азот, фосфор, хүхрийн солилцоонд оролцдог ферментүүд

Протеазууд (ЕС 3.4.4...) нь ургамлын өсөлт, ургамалд байх азотын хэмжээг зохицуулагч бөгөөд байгаль дээрх азотын эргэлтэд чухал үүрэг гүйцэтгэнэ. Эсийн гадна хөрсөнд ялгарч органик болон органик биш коллоидуудтай холбогдсон хэлбэртэйгээр агуулагдана [8]. Энэ фермент нь хөрсний микроорганизмын экологид чухал үүрэг гүйцэтгэх ба энд мөөгний эсрэг үйлчлэх бактерийн протеаза, нематофаг, шавьжинд өвчин үүсгэх бактерийн болон мөөгний шүлтлэг сериний протеаза, бактерийн болон мөөгний кератин задлах протеазууд хамаардаг [9]. Ризосферт протеазын идэвх өндөр [10] байхаас гадна хөрсөн дэх микробын тооноос хамаарах тул биологийн бүтээмжийг илэрхийлдэг [7]. Уг фермент нь хөрсний экосистемд хөрсийг эрүүл, бас үржил шимтэй байлгахад чухал үүргийг гүйцэтгэдэг [11]. Хөрсөнд уургийн уусмал нэмэн тодорхой хугацаанд инкубацлан улмаар протеазын үйлчлэлээр үүсэх уургийн задралын бүтээгдэхүүний хэмжээгээр [12], трипсин үүсгэх өвөрмөц субстрат болох N-бензил-1-аргининамид (ВАА)-тай [13] хөрсний протеолитик идэвхийг тодорхойлдог. **Уреаза** (ЕС 3.5.1.5) нь мочевиныг задалж хөрсөнд NH_3 ба CO_2 -ийг үүсгэх тул хөрсний рН-ийг нэмэгдүүлдэг [14]. Хөрсөнд голчлон ургамал болон микроорганизмаас ялгарна. Хөрсний физик-химийн шинж чанар, ялзмагийн агууламж уг ферментийн тогтвортой шинж чанарыг нэмэгдүүлж температур, уураг задлагч ферментийн үйлчлэлд тэсвэртэй болгодог [15]. Уреазын идэвх тухайн хөрсөнд тариалсан ургамал, хөрсний органик бодисын агууламж [16], хөрсний гүн, хөрс боловсруулалтанд Ашигласан арга ажиллагаа, хүнд металлын агууламж [17], орчны хүчин зүйлс болох температур, рН зэрэгт маш мэдрэг тул хөрсний биологийн индикатор болгон ашигладаг [18]. Хөрсөнд явагдах нитрификаци, денитрификацийн процесс эрчимжихэд уреазын идэвх буурдаг бол орчны температур

нэмэгдэхэд идэвх нь нэмэгддэг байна [19]. Уг ферментийн идэвхийг мочевиантай инкубацлан уреазын үйлчлэлээр үүсэх NH_3 -ыг хэмжих замаар тодорхойлдог [20]. **Фосфатазууд**. Анх 1942 онд Rogers хөрсөнд илрүүлсэн. Фосфатазууд хэмээх нэрэн дор фосфорын хүчлийн эфир болон ангидридуудыг задалдаг бүлэг (фосфомоноэстераза, пирофосфатаза, метафосфатаза, фитаза зэрэг) ферментийг хамааруулдаг [21]. Хөрсний экосистемд хүчиллэг (ЕС 3.1.3.2) болон шүлтлэг (ЕС 3.1.3.1) фосфатаза ургамлын өсөлт, фосфорын стресс, фосфорын эргэлтэнд шийдвэрлэх үүрэг гүйцэтгэнэ. Эдгээр нь хөрсний үржил шимийн индикатор болхоос гадна хөрсний системд, тухайлбал, байгаль дээрх фосфорын эргэлт, шимэгдэлтэд чухал ач холбогдолтой. Идэвх нь хөрсний фосфорын агууламж, микоризын хэмжээнээс [22] хамаархаас гадна хөрсний рН-тай нягт холбоотой. Тухайлбал, хөрсний рН нэмэгдэхэд шүлтлэг фосфатазын идэвх нэмэгдэн хүчиллэг фосфатазын идэвх буурдаг бол эсрэгээр хөрсний рН буурхад хүчиллэг фосфатазын идэвх нэмэгддэг [23]. Хөрсний органик нэгдэлтэй холбогдсон фосфорыг чөлөөлөн ургамал ашиглах, ууссан хэлбэрт шилжүүлнэ. Буурцагт ургамал фосфатазыг илүү нийлэгжүүлдэг. Фосфорын дутагдалтай хөрсөнд ургамлын үндэсний симбиоз мөөгөнцөр фосфатазыг хүчтэй ялгаруулснаар хөрсний фосфатазын идэвхийг нэмэгдүүлдэг [24], ялангуяа ризосферт шүлтлэг фосфатазын идэвх өндөр байдаг [10]. Идэвхийг нь органик фосфорын нэгдэлтэй инкубацлан фосфатазын үйлчлэлээр ялгарах органик бус фосфорын хэмжээг тодорхойлох, эсвэл ялгарах органик үлдэгдлийг илрүүлэх замаар тодорхойлдог [21]. **Арилсульфатаза** (ЕС 3.1.6.1) нь хүхрийн эфирийг задлах үүрэгтэй, ургамал хүхрийг SO_4^- байдалтай авах нь энэ ферментийн идэвхээс хамаарна. Хөрсөнд явагдах хүхрийн эргэлтэд чухал үүрэгтэй ба идэвх нь хөрсний органик, органик бус нүүрстөрөгч, органик бус азотын

агууламж [25], хөрсний микроорганизмын идэвх [26], ялзмагтай хүчтэй хамааралтай [27]. Идэвх нь тухайн хөрсөнд тариалсан ургамал, хөрсний хэв шинж, газар ашиглалт болон хүнд металлын бохирдол зэргээс хамаарч ялгаатай байхаас гадна ризосферт идэвх нь өндөр байдаг

Нүүрстөрөгчийн солилцоонд оролцдог ферментүүд

Амилаза. Цардуул нь фотосинтезийн процессоор ургамлын эдэд хуриамтлагддаг нөөц полисахар юм. Амилаза (ЕС 3.2.1...) нь энэхүү полисахарын деполимержих урвалыг явуулдаг ба целлюлаза ба сахаразын хамтаар хөрсөнд хуримтлагдсан ургамлын үлдэгдлийг задлах үүрэгтэй. Ялангуяа ургамалд илүү нийлэгжин эсийн гадна ялгардаг, энэ нь индуцибель фермент ба идэвх нь субстрат, орчны температур, чийг, рН зэргээс хамаардаг. Уг ферментийн үйлчлэлээр хөрсөнд үүссэх бүтээгдэхүүн микроорганизм амьдрах тааламжтай нөхцлийг бүрдүүлэх тул хөрсний мөөг, бактерийн идэвхтэй хамааралтай [30]. Хөрсөнд инсектицид, пестицидээр үйлчлэх, цаасны үйлдвэрлэлийн хаягдал нэмэгдэхэд идэвх нь нэмэгддэг [31]. **Целлюлаза** (ЕС 3.2.1.4) Дэлхий дээр фотосинтезын дүнд бий болох нийт биомассын 50% ургамлын бүтцийн полисахар болох целлюлоз бүрдүүлдэг. Целлюлаза фермент нь үүнийг глюкоза, целлобиоза, өндөр молекул жинтэй олигосахарид болгон задардаг. Целлюлазын системд ямар нэгэн дараалалгүйгээр целлюлозын гинжийг тасалдаг эндо-1,4-β-глюканаза (ЕС 3.2.1.4), целлюлозын гинжний ангижрахгүй төгсгөлөөс нь глюкоза эсвэл целлобиозыг салгадаг экзо-1,4-β-глюканаза (ЕС 3.2.1.91), целлобиоза болон бусад усанд уусамтгай целлодекстринүүдийг задлан глюкоза үүсгэдэг β-D-глюкозидаза (ЕС 3.2.1.21) багтана [15]. Целлюлаза нь нүүрстөрөгчийн эргэлтэд чухал үүрэгтэй тул хөрсний үржил шимийг тодорхойлоход гол үзүүлэлт болдог

Исэлдэн-ангижрах процесст оролцдог ферментүүд

Каталаза (ЕС 1.11.1.6) нь гем агуулсан, аэроб амьсгалын үед бодисын солилцооны дайвар бүтээгдэхүүн байдлаар үүсэх H₂O₂-ийг ус болон молекул хүчилтөрөгч болгон задалдаг исэлдэн-ангижруулах ангийн фермент. Энэ ферментийг бүх аэроб, ихэнхи факультатив анаэробууд нийлэгжүүлдэг бол облигат анаэроб микроорганизм нийлэгжүүлдэггүй [45]. Хөрсөн

[28]. Идэвхийг нь органик нэгдэл болох р-нитрофенилсульфаттай инкубацлан арил-сульфатазын үйлчлэлээр ялгарах р-нитрофенолын хэмжээг тогтоох замаар тодорхойлдог [29].

ферментийн нэг [32]. Целлюлазын идэвхид температур, хөрсний рН [33], чийг [28], хүчилтөрөгчийн агууламж, хөрсний үе дэх органик нэгдлийн байрлал, химийн бүрдэл; органик бодис, хөрсний эрдэс элементийн чанар; фунгицидын үлдэгдэл, ургамалжилт [34] зэрэг нөлөөлдөг. Субстрат болгон целлюлозын байгалийн болон нийлэг уламжлалуудыг ашиглан уг ферментийн үйлчлэлээр үүсэх бүтээгдэхүүний хэмжээгээр идэвхийг нь тодорхойлдог [35]. **Сахараза** (буюу инвертаза, ЕС 3.2.1.26) нь хөрсөн дэх ургамлын үлдэгдэл, гликозидыг задлах ба түүний нөлөөгөөр үүссэн глюкоза нь микробын нүүрстөрөгчийн гол эх үүсвэр болдог. Идэвх нь субстратын хэмжээнээс [36] хамаарах ба хөрсний микроорганизмын үйл ажиллагаатай холбоотой [37], хөрсний чанарын индикатор, биологийн идэвхийн тусгал фермент болдог. Хөрсний органик бодисыг тогтворжуулах чадварыг харуулдаг тул хөрсний менежментийн үр дүнг тодорхойлоход хэрэглэнэ [38]. Хөрсний рН [39], зэс зэрэг хүнд металлын үйлчлэлд мэдрэмтгий [40, 32]. Агаарын хуурайшилт хөрсний сахаразын идэвхийг бууруулдаг бол 4⁰С-т түүний идэвх хамгийн тогтвортой байдаг [41], ризосферийн хөрсөнд идэвх нь өндөр байж [42] хөрсний гүн рүү идэвх нь буурдаг [43]. Уг ферментийн идэвхийг субстрат нэмэн инкубацласны дараа үүсэх бүтээгдэхүүний хэмжээгээр, эсвэл урвалд оролгүй үлдсэн субстратын хэмжээгээр тодорхойлдог [44].

дэх идэвх нь органик нүүрстөрөгчийн агууламж, микроорганизмын биомасс, хүчилтөрөгчийн зарцуулалт, нүүрсхүчлийн хийн өөрчлөлттэй хамааралтай байдаг [46]. Тиймээс хөрсний үржил шим болон аэроб микроорганизмын индикатор болдог. Хөрсөн дэх идэвх нь маш тогтвортой ба хөрсний гүн рүүгээ буурдаг. Хөрсний хүчилтөрөгчийн

хангамж буурах, усны хэмжээ болон Fe^{+2} агууламж нэмэгдэхэд идэвх нь буурдаг бол хөрсний агаарын солилцоо, хөрсний сүвжилт, хүчилтөрөгчийн диффузлэх хэмжээ, исэлдэн-ангирхах потенциал нэмэгдэхэд идэвх нь нэмэгддэг [45]. **Пероксидаза** (ЕС 1.11.1.7) нь хөрсний микроорганизмын үйл ажиллагааны үр дүнд үүсэх фенол, амин, зарим гетероцагирагт нэгдлийг органик хэт ислийн хүчилтөрөгчийн оролцоотойгоор исэлдүүлдэг. Хөрсний базидиомицет, актиномицет, эктомикоризит мөөг нийлэгжүүлэхээс гадна ургамлын үндэснээс ялгарна [47]. Хөрсөнд явагдах лигниний задрал, нүүрстөрөгчийн эрдэжилт болон ууссан органик нүүрстөрөгчийн ашиглалтад чухал үүрэгтэй тул хөрсөнд ялзмаг үүсэх процесст оролцоно [48]. Пероксидазын идэвх ойн хөрсөнд өндөр байдаг [49]. Идэвхийг нь нэмсэн H_2O_2 -ийн үйлчлэлээр исэлдэх субстратын хэмжээгээр тодорхойлдог ба түгээмэл субстратууд нь пирогаллол, L-DOPA (L-3,4-дигидроксифенилаланин), ABTS (2,20-азино-бис-(3-этилбензтиазолин-6-сульфоны хүчил) юм [50]. **Полифенолоксидаза** (ЕС 1.4.18.1, ПФО, монофенолмонооксигеназа) нь электроны донор ашиглан субстратад хүчилтөрөгчийн нэг молекулыг нэгдүүлдэг, ароматик органик нэгдлүүдийг ялзмагийн бүрэлдэхүүнд хувиргадаг фермент [48]. Идэвхтэй төвдөө зэсийн хоёр ион агуулсан, амьтан, ургамал, мөөг, бактериад түгээмэл тархсан. Энэ ферментийн үйлчлэлээр моно-, ди-, трифенол нь агаарын хүчилтөрөгчийн оролцоотойгоор хинон болон хувирдаг. Хинон

нь тохирсон нөхцөлд амин хүчил болон пептидтэй конденсацлагдан гумин хүчлийн анхдагч молекулыг үүсгэдэг тул хөрсний үржил шим үүсэхэд чухал үрэгтэй [51]. Бидний зүгээс 2010 оноос хөрсний ферментийн судалгааны сэдэв рүү орсон бөгөөд энэ хугацаанд дээрх ферментийн идэвхийг тодорхойлох арга зүйг боловсронгуй болгон өөрсдийн лабораторийн нөхцөлд тохируулан өөрчилж Монгол орны физик газар зүйн мужлалын ойт хээр, тал хээрийн бүсэд хамаарах 15 хэв шинжийн хөрсний [52] дээжинд болон рапс, улаан буудайн тариалангийн хөрсөнд хөрсний ерөнхий үзүүлэлт болох чийг, титрлэгдэх хүчиллэг, хандлагдах уураг, үржил шимийн үзүүлэлт болох хөдөлгөөнт фосфор, ялзмагагаас гадна эдгээр ферментийн идэвхийг гүн болон хүний үйл ажиллагаанаас хамааруулан тодорхойлох ажлыг хийсэн. Судалгааны үр дүнг ерөнхийд нь нэгтгэвэл:

1. Бүх хэв шинжийн хөрсөнд хөдөлгөөнт фосфор, ялзмаг, уургийн агууламж болон ферментийн идэвхи хөрсний гүн рүүгээ буурч байна
2. Хүний үйл ажиллагаанд өртсөн хөрсөнд энэ бууралт илүү эрчимтэй явагдах ба хөрсөнд явагдах процессуудын хоорондын хамаарал хүчтэй илэрч байна.
3. Бидний боловсруулсан арга зүйгээр хөрсний үржил шимийг, хөрсөнд явагдах процессын биохимийн эрчмийг тодорхойлох бүрэн боломжтой гэсэн үр дүн гаргаад байна.

НОМ ЗҮЙ

1. Bakshi M., Varna A. (2011) Soil Enzyme: The state of art. In Shukla G., Varna A. (eds) Soil enzymology. Soil Biology 22, Springer, pp 1-23
2. Dick R.P., Breakwell D.P., Turco R.F. (1996) Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: Doran J.W., Jones A.J. (eds) Methods of assessing soil quality. Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 247-271
3. Pankhurst C.E., Doube B.M., Gupta V.V.S.R. (1997). Biological indicators of soil health: Synthesis. In: Pankhurst C.E., Doube B.M., Gupta V.V.S.R. (Eds.), Biological Indicators of Soil Health. CAB International, pp. 419-435
4. Skujins J. (1978) History of abiotic soil enzyme research. In Burns R.G. (ed) Soil Enzymes. Academic press, London, pp 1-49
5. Купревич В.Ф., Щербакова Т.А. (1966) Почвенная энзимология. Минск, “Наука и Техника”, стр 275
6. Schinner F. Ohlinger R., Kandeler E., Margesin R. (1996) Methods in Soil Biology. Springer, Berlin, pp 255-256
7. Caldwell B.A. (2005) Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. *Pedobiologia*, 49: 637-644
8. Burns R.G. (1982) Enzyme activity in soil: location and possible role in microbial ecology. *Soil Biol Biochem*, 14:423-427

9. Vranova V., Rejsek K., Formanek P. (2013) Proteolytic activity in soil: A review. *Applied Soil Ecology*, **70**:23-32
10. Marschner P., Grierson P.F., Rengel Z. (2005) Microbial community composition and functioning in the rhizosphere of three *Banksia* species in native woodland in Western Australia. *Appl. Soil Ecol.* **28**: 191-201
11. Weintraub M.N., Schimel J.P. (2005) Seasonal protein dynamics in Alaskan arctic tundra soils. *Soil Biology & Biochemistry*, **37**:1469-1475
12. Ladd J.N., Butler J.H.A. (1972) Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using protein and dipeptide derivative as substrates. *Soil Biol Biochem*, **4**:19-30
13. Landi L., Renella G., Giagnoni L., Nannipieri P. (2011) Activities of proteolytic enzymes. In: Dick R.P. (Ed.) *Methods of Soil Enzymology*. Soil Science Society of America, Madison, USA, pp. 247-273
14. Andrews R.K., Blakeley R.L., Zerner B. (1989) Urease: a Ni (II) metalloenzyme. In: Lancaster JR (ed) *The bioinorganic chemistry of nickel*. VCH, New York, pp. 141-166
15. Utobo E.B., Tewari L. (2015) Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status. *Applied ecology and environmental research*, **13**(1):147-169
16. Trasar-Cepeda C., Leirors M.C., Gil-Sotres F. (2008) Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. *Soil Biol Biochem*, **40**:2146-2155
17. Li T., Meng L., Herman U., Lu Zh., Crittenden J. (2015) A Survey of Soil Enzyme Activities along Major Roads in Beijing: The Implications for Traffic Corridor Green Space Management. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **12**:12475-12488
18. Yang Y.Z., Liu S., Zheng D., Feng S. (2006) Effects of Cadmium, Zinc and Lead on Soil Enzyme Activities. *Journal of Environmental Science*, **18** (6):1135-41
19. Aon M.A., Colaneri A.C. (2001) Temporal and Spatial Evolution of Enzymatic Activities and Physico-Chemical Properties in an Agricultural soil. *Appl. Soil Ecol.* **18**: 255-270
20. Tabatabai M.A., Bremner J.M. (1972) Assay of urease activity in soil. *Soil Biol. Biochem*, **4**:479-487
21. Eivazi F., Tabatabai M.A. (1977) Phosphatases in soils. *Soil Biol Biochem*, **9**:167-172
22. Kumar S, Chaudhuri S., Maiti S.K. (2011) Phosphatase activity in natural and mined soil. A review. *Indian J. Environ. Prot.* **31**:955-962
23. Dick W.A., Cheng L., Wang P. (2000) Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biol Biochem*, **32**:1915-1919
24. Cozzolino V., Pigna M., Di Meo V., Caporale A.G. and Violante A. (2010) Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus supply on the growth of *Lactuca sativa* L. and arsenic and phosphorus availability in an arsenic polluted soil under non-sterile conditions. *Applied Soil Ecology*, **45**:262-268
25. Li X., Sarah P. (2003) Arylsulfatase activity of soil microbial biomass along a Mediterranean-arid transect. *Soil Biol Biochem*, **35**(7):925-394
26. Sinsabaugh R.L. (1994) Enzymic analysis of microbial pattern and process. *Biol. Fertil. Soils*, **17**:69-74
27. Burns R.G. (1986) Interactions of enzymes with soil mineral and organic colloids. In: Huang P.M., Schuitzer M. (eds) *Interactions of soil minerals with natural organics and microbes*. Spec Publ 17, Soil Sci Soc Am, Madison, Wis, pp 429-451
28. Gianfreda L. (2015) Enzymes of importance to rhizosphere processes. Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, **15** (2), 283-306
29. Whalen J.K., Warman P.R. (1996) Arylsulfatase activity in soil and soil extracts using natural and artificial substrates. *Biol Fertil Soils*, **22**:373-378
30. Joshi S.R., Sharma G.D., Mishra R.R. (1993) Microbial enzyme activities related to litter decomposition near a highway in a sub-tropical forest of North East India. *Soil Biol Biochem*, **22**:51-55
31. Kannan K., Oblisami G. (1990) Influence of pulp and paper mill effluents on soil enzyme activities. *Soil Biol Biochem*, **22**:923-927
32. Das S.K., Varma A. (2011) Role of Enzymes in Maintaining Soil Health. In: Shukla G., Varma A. (eds.) *Soil Enzymology*, Soil Biology 22, Springer-Verlag Berlin Heidelberg USA, pp 25-42
33. Deng S.P., Tabatabai M.A. (1994). Cellulase activity of soils. *Soil Biol. Biochem.* **26**: 1347-1354
34. Wang B., Xue S., Liu G.B., Zhang G.H., Li G., Ren Z.P. (2012) Changes in soil nutrient and

- enzyme activities under different vegetations in the Loess Plateau area, Northwest China. *Catena*, **92**:186-195
35. Sadhu S., Maiti T. K. (2013) Cellulase Production by Bacteria: A Review. *British Microbiology Research Journal*, **3**(3):235-258
36. Sinsabaugh R.L., Antibus R.K., Linkins A.E., McClaugherty C.A., Rayburn L., Repert D., Weiland T. (1993) Wood decomposition: nitrogen and phosphorus dynamics in relation to extracellular enzyme activity. *Ecology*, **74**:1586-1593
37. Ekenler M., Tabatabai M. (2002) β -Glucosaminidase activity of soils: effect of cropping systems and its relationship to nitrogen mineralization. *Biol. Fertil. Soils*, **36**:367-376
38. Даденко Е.В., Прудникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. (2013) Применение показателей ферментативной активности при оценке состояния почв под сельскохозяйственными угодьями. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, том 15, **3**(4):1274-1277
39. Frankeberger W. T., Johanson J. B. (1983b) Factors affecting invertase activity in soils. *Plant Soil*, **74**(3):313-323
40. Li Y., Rouland C., Benedetti M., Li F., Pando A., Lavelle P., Dai J. (2009) Microbial biomass, enzyme and mineralization activity in relation to soil organic C, N and P turnover influenced by acid metal stress. *Soil Biol Biochem*, **41**:969-977
41. Karaca A., Cetin S.C., Turgay O.C., Kizilkaya R. (2011) Soil Enzymes as Indication of Soil Quality. In: Shukla G., Varma A. (eds.) *Soil Enzymology, Soil Biology 22*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg USA, pp 118-148
42. Song F., Han X., Zhu X., Herbert S.J. (2012) Response to water stress of soil enzymes and root exudates from drought and non-drought tolerant corn hybrids at different growth stages. *Can. J. Soil Sci*, **92**:501-507
43. Горбов С.Н. (2013) Биологическая активность почв городских территорий (На примере города Ростов-на-Дону. *Научный журнал КубГАУ*, №85(01), УДК 631.465
44. Frankeberger W. T., Johanson J. B. (1983a) Method of measuring invertase activity in soils. *Plant Soil*, **74**(3):301-311
45. Brzezinska M., Wlodarczyk T, Stepniewski W., Przywara G. (2005) Soil aeration status and catalase activity. *Acta Agrophysica*, **5**(3):555-565
46. Frankenberger W.T., Dick W.A. (1983c) Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J*, **47**:945-951
47. Gramss G., Voigt K.D., Kirsghe B. (1999) Oxidoreductase enzyme liberated by plant roots and their effects on soil humic material. *Chemispehe*, **38**(7):1481-1494
48. Sinsabaugh R.L. (2010) Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil. *Soil Biol.Biochemistry*, **42**:391-404
49. Johnsen A.R., Jacobsen O.S. (2007) a quick and sensitive method for the quantification of peroxidase activity of organic surface soil from forests. *Soil Biol Biochem*, **40**(3):814-821
50. Bach C.E., Warnock D.D., Van Horn D.J., Weintraub M.N., Sinsabaugh R.L., Allison S.D., German D.P. (2013) Measuring phenol oxidase and peroxidase activities with pyrogallol L-DOPA, and ABTS: Effect of assay conditions and soil type. *Soil Biol Biochem*, **67**:183-191
51. Mayer A.M. (2006) Polyphenol oxidases in plants and fungi: going places? A review. *Phytochemistry*, **67**:2318-2331
52. Доржготов Д. (2003) Монгол орны хөрс, Улаанбаатар, “Адмон”, 18-23, 69-80 тал

ROLE OF ENZYMES IN SOIL

J.Bayarmaa* and D.Purev

Department of Biology, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia,
Ulaanbaatar, Mongolia

*Corresponding author: bayarmaa@num.edu.mn

ABSTRACT

Enzymes are an integral part of the soil and their activity is closely related to the physical, chemical and biological properties of the soil. Human activities, intensive agriculture, changes in ecosystem, environmental pollution have a great influence on the activity of soil enzymes. Depending on the origin soil enzymes are indicators for accessing the condition of the soil for short and long period of time. Almost all anthropogenic and environmental factors affecting the physical and chemical properties of the soil are studied for this purpose, but enzymes in the soil are the most sensitive to these changes. So it is a time to the study of the enzymes in the soil.

KEYWORDS: Intensification of soil and biological processes, indicators, enzymes