

СУДАЛГАА

**МАХНААС ЯЛГАСАН *S. AUREUS*-Н
ОМГИЙН БИОФИЛЬМ ҮҮСГЭХ ЧАДВАРЫГ
ҮНЭЛСЭН ДҮН**

Д.Амгаланзаяа^{1,2}, Б.Батзаяа³, Р.Уранчимэг⁴, М.Бадмаараг⁴, Ж.Сарантуяа¹, Я.Мөнхдэлгэр¹

¹АШУУИС, БАС, Молекулбиологи-Удамзүйн тэнхим

²ЭИС, ЭМС, Био-Анагаахын тэнхим

³Меданалитик лаборатори

⁴Хэнтий аймгийн нэгдсэн эмнэлэг

⁵АШУУИС, Био-Анагаахын хүрээлэн

Үндэслэл

Staphylococcus aureus (*S.aureus*) нь дэлхий даяар өргөн тархсан, эмнэлзүйн ач холбогдол бүхий эмгэг төрөгч бактери юм. Энэ нь арьс болон зөөлөн эдийн халдвар, уушгины хатгалгаа, эндокардит, остеомиелит зэрэг хүнд өвчнөөс гадна хүнсний гаралтай хордлого үүсгэдгээрээ онцлог.^{1,2} Дэлхий дахинд *S. aureus*-ийн халдварын тохиолдол жил бүр олон саяар бүртгэгдэж, хүн амын өвчлөл, эмнэлгийн зардал болон эдийн засгийн алдагдалд ноцтойгоор нөлөөлж байна. Хүнсний үйлдвэрлэл, хадгалалт, боловсруулалтын явцад энэ бактери ажилтны гар, орчны гадаргуу, тоног төхөөрөмжөөр дамжин хүнсийг бохирдуулж, хүнсний аюулгүй байдалд эрсдэл учруулдаг.^{3,4}

S. aureus-ийн хүнсний бохирдол үүсгэхэд оролцдог гол хоруу чанарын хүчин зүйлийн нэг нь тогтвортой биофильм үүсгэх чадвар юм.⁵ Биофильм гэдэг нь бактери гадаргууд наалдах, олширч хуримтлагдах, эсийн гаднах орчин бүрдүүлэх, орчинд тархах гэсэн үе шатаар бүрэлдэн тогтсон бактериуд бүлэглэн амьдрах онцгой хэлбэр юм. Ингэснээр биофильмд орших бактер антибиотикийн үйлчлэлд тэсвэртэй болж, дархлааны тогтолцооны эсрэг

хамгаалагдаж, хүрээлэн буй орчны стрессийг тэсвэрлэх боломжтой болдог.⁶

Биофильм үүсгэснээр бактерийн антибиотикт тэсвэртэй байдал 10–1500 дахин нэмэгдэж, халдварыг эмчлэхэд энгийн антибиотикийн тунгаас 4–10 дахин их тун шаардлагатай байна.⁷

Биофильмийн матрикс нь полисахарид, уураг, липид, ДНХ зэрэг олон төрлийн молекулаас бүрддэг бөгөөд эдгээр нь бактерийн наалдац, эс хоорондын холбоо, антибиотикт тэсвэржилтийг нэмэгдүүлэхэд чухал үүрэгтэй.⁸ Поли-β(1,6)-N-ацетил-глюкозамин нь биофильмийн тогтвортой байдлыг хангах гол бүрэлдэхүүн болдог.⁹

Staphylococcus aureus нь хүнсний үйлдвэрлэл, эмнэлгийн орчин болон хүрээлэн буй орчинд өргөн тархсан, олон төрлийн халдварт өвчин үүсгэх чадвартай нян бөгөөд түүний биофильм үүсгэх шинж нь халдвар дамжих, архагших, ариутгалын болон антибиотикийн нөлөөнд тэсвэртэй байх чухал хүчин зүйлд тооцогддог. Биофильм нь нянгууд гадаргуу дээр наалдаж, өөрийн ялгаруулсан полисахарид, уураг, ДНХ-аас бүрдэх матриксаар бүрхэгдэн тогтвортой колони үүсгэдэг олон шатлалт процесс юм. Энэхүү бүтэц нь

бактерийг гадаад орчны хүнд нөхцөл, дархлааны хамгаалалт болон эмийн үйлчлэлээс хамгаалж, эмчилгээний үр дүнг бууруулах, дахилтат халдвар үүсгэх нөхцөл бүрдүүлдэг¹⁰.

S. aureus-ийн биофильм үүсгэх чадвар хүнсний түүхий эд, мах боловсруулах тоног төхөөрөмж, эмнэлгийн хэрэгсэл дээр өндөр хувьтай илэрч байгаа нь тогтоогдсон. Тухайлбал, биофильмтэй омгууд нь β -лактам болон макролидын бүлгийн антибиотикт тэсвэртэй байх хандлагатай бөгөөд энэ нь халдварыг улам хүндрүүлж, олон нийтийн эрүүл мэндийн ноцтой асуудал болж байна

Судалгааны зорилго: Мах нийлүүлэх, худалдаалах цэгээс цуглуулсан дээжээс илэрсэн *S. aureus* омгуудын биофильм үүсгэх чадварыг үнэлэх

Судалгааны загвар, арга аргачлал: Судалгааг агшингийн судалгааны загвараар хийж гүйцэтгэлээ. Мах бэлтгэх болон худалдаалах цэгээс түүхий махны дээж, хормогч, лангуу, зөөврийн тэрэгний тавцан болон ажилтны гараас авсан арчдас зэрэг нийт 437 сорьц

цуглуулсан. Махны сорьцыг ариун уутанд, харин гадаргуу болон гарын арчдасыг физиологийн уусмал бүхий ариун тюбэнд хийж, цуглуулснаас хойш 2 цагийн дотор лабораторид хүргэж шинжилгээнд хамруулав.

Судалгааны ажлыг АШУҮИС, Био-Анагаахын сургуулийн молекул биологийн сургалт, судалгааны лаборатори болон Био-Анагаахын хүрээлэнгийн лабораторид хийж гүйцэтгэсэн. MNS 6308:2012 болон ISO 6888-1:2021 стандартын дагуу махнаас 25 г дээж авч 225 мл пептоны шөлөнд хийн, нэгэн жигд болгосны дараа 10^2 – 10^3 -аар шатлан шингэлж, шингэрүүлсэн уусмалаас 1 мл-ийг Baird-Parker сонгомол тэжээлт орчинд, 37°C хэмд 24 цаг өсгөвөрлөв. Тэжээлт орчинд тунгалаг хүрээ бүхий хар колони илэрсэн тохиолдолд *S. aureus*-ын бохирдолтой гэж үзэж, ПГУ-аар баталгаажуулсан. Баталгаажуулахдаа *S. aureus*-ийн зүйл өвөрмөц термонуклеаз генийн (*nucA*) 270 хн урттай бүтээгдэхүүнийг ПГУ-аар олшруулж, гель электрофезийн аргаар илрүүлсэн. (Хүснэгт 1)

Хүснэгт 1. *S. aureus*-ийн зүйл өвөрмөц *nucA* генийг ПГУ-аар илрүүлэх протокол

Праймерийн дараалал (5'-3')	F 5'-3' GCGATTGATGGTGATACGGTT R 5'-3' AGCCAAGCCTTGACGAACATAAGC
Холимог бэлтгэх	ПГУ-ын мастер холимогт (Чорос онош, Монгол) праймер тус бүрээс 1 мкл, ДНХ 2 мкл, нийт 25 мкл
Бүтээгдэхүүний урт (хн)	270
ПГУ-ын нөхцөл	
Эхлэлийн денатураци	95°C хэмд 10 мин
Денатураци	94°C хэмд 1 мин
Праймер холбогдох	55°C хэмд 30 сек
Уртсах	72°C хэмд 1.5 мин
Төгсгөлийн уртсах	72°C хэмд 10 мин
Циклийн тоо	37
Илрүүлэх	Олширсон ПГУ-ын бүтээгдэхүүнийг 1.5%-ийн агарозын гелээр 100 вольтод 30 минут гүйлгэж этидиум бромидоор 20 минут будаж илрүүллээ.

Бактерийн биофильм шинжийг микротитр хуванцар хавтан ашиглан тодорхойлох¹⁸: 96 худагтай хавтгай ёроолт микротитрийн хавтангийн худаг тус бүрд 0.5% глюкоз бүхий 200 мкл шар

буурцгийн шөл хийв. Махнаас илэрсэн *S. aureus*-ийн омгийг шар буурцгийн шөл (tryptic soy broth, TSB)-т өсгөвөрлөсөн өсгөврөөс 0.5 Макфарланд (10^8 эс/мл) стандарттай тэнцүү байхаар

булинга бэлтгэн худаг тус бүрд 1:100 харьцаатай байхаар нэмж, 37°C хэмд 48 цаг инкубацлав. Инкубацийн дараа фосфатын буфер (PBS) уусмалаар 5 удаа угааж, гадаргууд наалдаагүй бактериас салгасны дараа 60°C хэмд 60 минутын турш хатааж бэхжүүлээ. Худгийн ёроолд наалдсан бактер дээр 0.1% кристал виолетын уусмалаас 100 мкл нэмэн 15 минут будаж, усаар нэг удаа угаан, агаарт хатаав. Бүрэн хатсан худаг тус бүрд 100 мкл 33% мөсөн цууны хүчил нэмж тасалгааны хэмд 10 минут байлгасны дараа 490 нм долгионы урттай спектрофотометрт уншуулж, үр дүнг босго хэмжээтэй харьцуулан биофильм үүсгэх чадварыг үнэллээ.

Биофильм үүсэлтийг сканниг электрон микроскоп (SEM)-оор харж, баталгаажуулах¹⁹ 24 худаг бүхий эсийн өсгөврийн хавтангийн худаг тус бүрд 10 мм диамтетртэй дугуй бүрхүүл шил байрлуулж, 0.5% глюкоз бүхий 200 мкл шар буурцгийн шөл хийв. Дээрээс нь *S. aureus*-ийн 0.5 Макфарланд бүхий булингаас 1:100 харьцаагаар нэмж, 37°C хэмд 48 цагийн турш өсгөвөрлөв. Өсгөвөрлөсний дараа шингэн хэсгийг соруулж бүрхүүл шилийг PBS уусмалаар 2 удаа угааж, гадаргууд наалдаагүй бактериас салгасаны дараа нь 2.5% глюטרальдегид нэмж 2 цаг тасалгааны хэмт хатаав. Бэлдэцийг 30%, 50%, 70%, 90%, 100% этанолд тус бүр 10 минут байлгаж бэхжүүлсний дараа 25°C хэмд хатаав. Бэлдэц тус бүрийг MSP-mini magnetron sputter аппаратаар алтаар бүрж, Quanta Feg SEM сканнинг микроскопоор харж биофильм үүсэлтийг баталгаажууллаа.

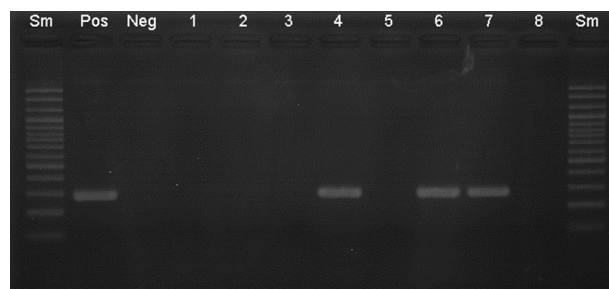
2.6 Судалгааны статистикийн боловсруулалт

Судалгааны ажлын үр дүнг “Microsoft Excel 2019”, IBM-SPSS 21.0 программ ашиглан боловсрууллаа. Чанарын хувьсагчийн тархалтын давтамж, дундаж,

стандарт хазайлтыг тооцож, ялгаатай байдлыг Хи-квадрат (χ^2) тест үнэлсэн. Статистикийн тестийн үр дүнг $p < 0.05$ үед үнэн магадлалтайд тооцсон.

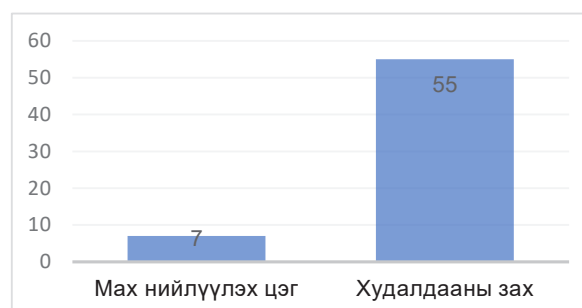
Судалгааны үр дүн

Судалгааг MNS 6308:2012 стандартын дагуу Baird-Parker-ын сонгомол тэжээлт орчинд өсгөвөрлөгдсөн өсгөврөөс ДНХ-г ялгаж, зүйл өвөрмөц *nucA* генийг ПГУ-аар олшруулж илрүүлсэн дүнг 1-р зургаар төлөөлөн харууллаа.



Зураг 1. *nucA* генийн бүтээгдэхүүн олширсон гелийн зураглал. Тайлбар: Sm - хэмжээ тогтоогуур, (pos) эерэг хяналт, (neg) сөрөг хяналт, 4, 6, 7 дахь сорьцонд 270 хн урттай *nucA* генийн бүтээгдэхүүн олширсон нь харагдаж байна.

ПГУ-ын шинжилгээнд эерэг хяналтаар *S. aureus* ATCC 25923 стандарт омгоос ялгасан ДНХ-г, сөрөг хяналтаар нэрмэл усыг ашиглалаа. Судалгаанд цуглуулсан нийт 437 дээжний 14.2% (62/437)-д *S. aureus*-ийн бохирдол илэрсэн.



Зураг 2. Мах нийлүүлэх, худалдааны захаас илэрсэн *S. aureus*

Улаанбаатар хотоос 25 км зайд байрлалтай мах бэлтгэх цэгээс нийт 75 сорьц цуглуулсны 7 буюу 9.3%-

д, Улаанбаатар хотод байрлалтай мах худалдаалах цэгээс 212 сорьцыг шинжлэхэд 55 буюу 25.9% *S. aureus*-ийн бохирдол илэрсэн.

Дээжнээс илэрсэн *S. aureus*-ийн биофильм үүсгэх чадварыг 96 худагтай хавтгай ёроолт таваг ашиглан тодорхойлж (Зураг 3), босго хэмжээтэй харьцуулан үнэллээ.



Зураг 3. *S. aureus*-ийн биофильм үүсгэх шинжийг үнэлсэн байдал. Тайлбар. А. Худгийн ёроолд наалдсан бактер кристал виолетоор будагдсан байдал Б. Тавагт омгуудыг хуваарилсан зураглал

Босго хэмжээг ($OD_{\text{босго хэмжээ}}$) сөрөг сорьцны OD утгын дундаж болон

нийт сорьцны дундаж утгын стандарт хазайлтыг (SD) нийлбэрээр тооцоход 0.0896 байлаа. Энэ утга дээр үндэслэн омог тус бүрийг дараах байдлаар үнэллээ. Үүнд:

- $OD \leq 0.0896$ үед Биофильм үүсгэдэггүй буюу сөрөг
- $0.0896 < OD \leq 2 \times 0.0896 (\approx 0.1792)$ үед Сул биофильм үүсгэгч
- $0.1792 < OD \leq 4 \times 0.0896 (\approx 0.3584)$ үед Дунд биофильм үүсгэгч
- $OD > 0.3584$ үед Хүчтэй биофильм үүсгэгч

S. aureus-ийн хуванцар гадаргууд наалдаж биофильм үүсгэх чадварыг босго утгатай харьцуулан үнэлэхэд 40.3% (25/62) нь биофильм үүсгэх чадвартай байсан бөгөөд нийт сорьцны 59.7% сөрөг, 29% сул биофильм, 9.7% дунд биофильм, 1.6% хүчтэй биофильм үүссэн байв.

S. aureus-ийн биофильм үүсгэх чадвар болон илэрсэн байршил, дээжний төрлийн байдал

		Биофильм үүсгэх чадвар			
		Сөрөг n(%)	Сул n(%)	Дунд n(%)	Хүчтэй n(%)
Дээж цуглуулсан байршил					
1	Мах нийлүүлэх цэг	4(57.1)	2(28.6)	1(14.3)	-
2	Худалдааны зах	33(60)	16(29.1)	5(9.1)	1(1.8)
Дээжийн төрөл					
1	Мах	26(61.9)	10(23.8)	5(11.9)	1(2.4)
2	Гадаргуугийн арчдас	11(55)	8(40)	1(5)	-
Нийт		37	18	6	1

Тайлбар: (-) илрээгүй

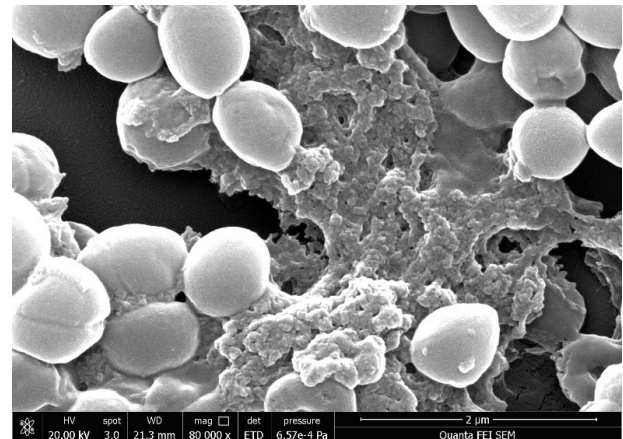
Мах нийлүүлэх цэг, мах бэлтгэх цэгээс цуглуулсан дээжнээс илэрсэн *S. aureus*-ийн 57.1% нь биофильм үүсгэдэггүй, 28.6% нь сул биофильм үүсгэгч, 14.3% нь дунд зэрэг биофильм үүсгэгч байсан бол хүчтэй биофильм үүсгэгч илрээгүй. Харин худалдааны захаас цуглуулсан дээжээс илэрсэн омгийн 60% нь биофильм үүсгэдэггүй, 29.1% нь сул биофильм үүсгэгч, 9.1%

нь дунд зэрэг биофильм үүсгэгч, 1.8% нь хүчтэй биофильм үүсгэгч байлаа. Дээж цуглуулсан байршилын хувьд илэрсэн *S. aureus* омгуудын биофильм үүсгэх чадвар харилцан адилгүй тодорхойлогдсон бөгөөд биофильм үүсгэх чадвар, цуглуулсан байршлын хоорондын хамаарал статистикийн хувьд ач холбогдолгүй ($p > 0.05$) байлаа.

Дээжийн төрлийн хувьд махны дээжээс илэрсэн *S. aureus*-ийн 38.1% (23.8% сул, 11.9% дунд, 2.4% хүчтэй), гадаргуугийн арчдаснаас илэрсэн *S. aureus*-ийн 45% (40% сул, 5% дунд) нь биофиль үүсгэх чадвартай байлаа. Гадаргуугийн арчдасны илэрсэн омгуудын биофильм үүсгэх чадвар махнаас илэрсэн омгоос харьцангуй өндөр байна. Энэ үр дүнгээс харахад биофильм үүсгэх чадвартай бактерийн бохирдол нь нэг гадаргуугаас дамжин бохирдуулах, удаан хугацаанд тогтвортой байж, орчинд илүүтэй тархах боломжтойг харуулж байна. Мах болон гадаргуугаас илэрсэн омгууд биофильм үүсгэх чадварын хувьд статистикийн ач холбогдол бүхий ялгаагүй ($p=0.48$) байлаа.

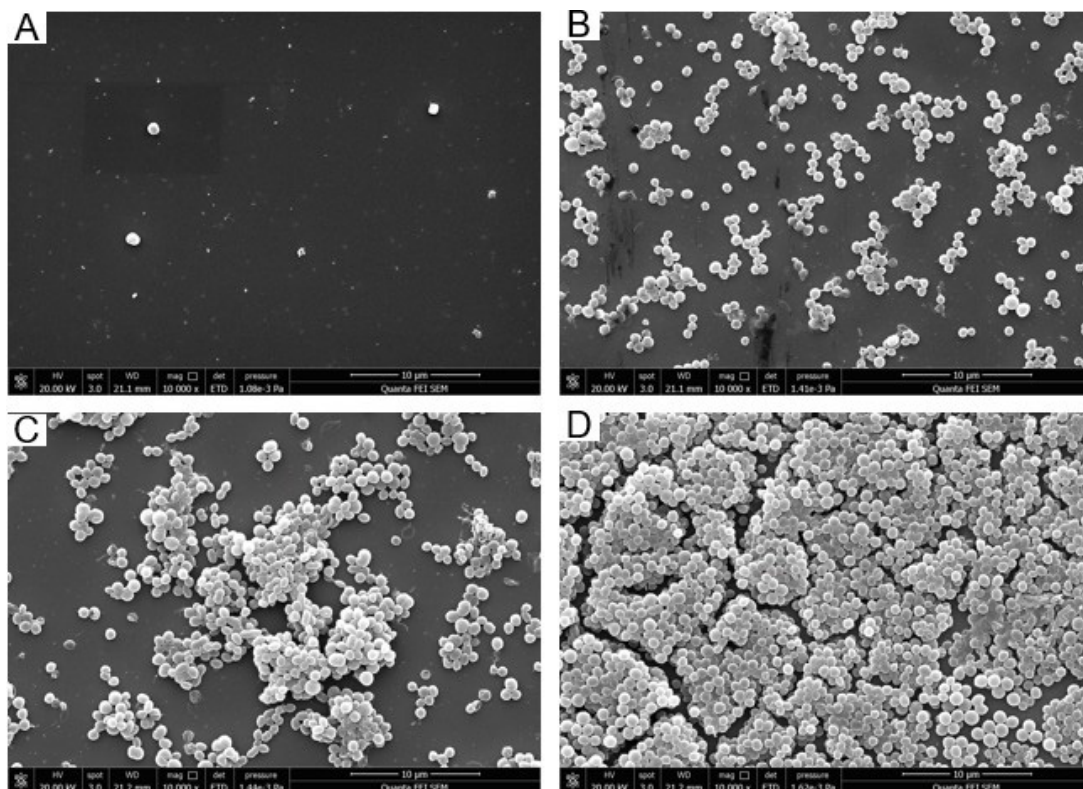
S. aureus-ийн биофильм үүссэн байдлыг сканнинг электрон микроскоп ашиглан баталгаажууллаа. Дөрөвдүээр зурагт *S. aureus*-ийн омгууд өөр хоорондоо бэхлэгдэж, бөөгнөрсөн байдалтай, эс хоорондын зайд полисахаридан матрикс

бүрэлдэн, биофильмийн бүтэц үүсгэж байгааг 80.000х өсгөлтөөр харуулав.



Зураг 4. *S. aureus*-ийн биофильм үүсгэсэн байдал /80000х өсгөлт/

96 худагтай хавтгай ёроолт таваг ашиглан сөрөг, сул, дунд болон хүчтэй биофильм шинж тодорхойлогдсон омгуудын биофильм шинжийг сканнинг электрон микроскоп ашиглан 10000х өсгөлтөөр харж, харьцуулсан байдлыг 5-р зургаар харууллаа.



Зураг 5. *S. aureus*-ийн биофильм үүсгэх чадвар/SEM 10000х өсгөлт/. Тайлбар: А: биолфильм үүсээгүй буюу сөрөг, В: сул биофильм үүссэн, С: дунд биофильм үүссэн, D: хүчтэй биофильм үүссэн байдал харагдаж байна

Хэлцэмж: *S. aureus* бактериар бохирлогдсон мах, махан бүтээгдэхүүний тархалт дэлхий дахинд байнгын анхаарал татсан асуудал байсаар байна. АНУ-ын Хүнс, эмийн агентлаг (FDA)-ийн мэдээллээр *S. aureus*-ийн бохирдол болон хүнсний гаралтай халдварын тоо тогтвортой буурах хандлагагүй байна гэжээ.²⁵ Европын хүнсний аюулгүй байдлын байгууллага (EFSA), Австралийн хүнсний аюулгүй байдлын (FSANZ) стандартаар мах, махан бүтээгдэхүүнд *S. aureus* илрэхгүй байх ёстой гэж заасан нь Монгол Улсад мөрдөгдөж буй сийвэн бүлэгнүүлэгч стафилококкийн тоог тогтоох MNS 6932:2021 хүнсний аюулгүй байдлын стандарттай нийцэж байна.^{26,27,28}

Энэхүү судалгааны үр дүнгээр Улаанбаатар хотоос цуглуулсан түүхий үхрийн махны нийт дээжийн 21.6%-д *S. aureus* илэрсэн байна. Үүнээс 4% нь мах боловсруулах үйлдвэрүүдээс, 32.1% нь махны захуудаас цуглуулсан дээж байв. Бусад улс орнуудын судалгааны үр дүнтэй харьцуулахад манай судалгааны үр дүн доогуур түвшинд байгаа бөгөөд Иран (26.31%)²⁹, АНУ (27%–28%)³⁰, Алжир (29.5%)³¹, Япон (32.8%)³², Этиоп (34.3%)³³, Өмнөд Солонгос (35.4%)³⁴ зэрэг улсуудад илүү өндөр бохирдол илэрсэн байна. Харин Нигери (1.3%)³⁵, Египет (15%)³⁶, Хятад (20.5%)³⁷ улсад бохирдлын хэмжээ бага байсан бол Марокко (40.38%)³⁸, Гана (45%)³⁹, Колумб (46%)⁴⁰, Гүрж (63%)⁴⁰, Польш (68%)⁴¹, Дани (68%) зэрэг улсуудад бохирдлын түвшин өндөр гарсан байна. Эдгээр үр дүнгээс харахад махны бохирдлын хэмжээ улс орон бүрд харилцан адилгүй байгааг харуулж байна.

Бидний судалгаагаар цуглуулсан дээжнээс илэрсэн *S. aureus*-ийн 62 омгийн 40.3% нь биофильм үүсгэх чадвартай байсан бөгөөд тэдгээрийн дийлэнх нь сул эсвэл дунд зэрэгт

ангилагдсан, харин хүчтэй биофильм үүсгэгч маш бага (1.6%) хувьтай байв. Энэ нь Qi Chen нарын БНХАУ-д хийсэн судалгааны дүнтэй нийцэж байна. Уг судалгаагаар хүнсний дээжээс ялгасан 358 омгийн 72% нь биофильм үүсгэх чадвартай байсан бөгөөд сул, дунд хэлбэр давамгайлж, зөвхөн 3% орчим нь хүчтэй ангилалд хамаарч байжээ. Харин Rasul Pajohesh нарын Иранд хийгдсэн судалгаанд түүхий сүүнээс ялгасан *S. aureus* нь бүгд биофильм үүсгэж, 63.6% нь хүчтэй, 36.4% нь дунд биофильм үүсгэж байна. *S. aureus*-ийн биофильм үүсгэх чадвар ялгаатай байгаа нь тухайн судалгаанд цуглуулсан сорьц, мах нийлүүлэх болон худалдаалах цэгийн байршил, үйлчлүүлэгчийн гарт хүргэж буй орчин нөхцөл зэргээс хамаарч байх боломжтой. Тиймээстэй бохирдлыг хянах, ариун цэврийн нөхцлийг сайжруулах, стандартын мөрдөлтийг чанд сахих нь хүнсний аюулгүй байдлыг хангахад чухал ач холбогдолтой байна.

Дүгнэлт: худалдааны зах болон мах нийлүүлэх цэгээс илэрсэн *S. aureus*-ийн омгуудын 40.3% нь биофильм үүсгэх чадвартай байсны ихэнх нь сул болон дунд зэрэг биофильм үүсгэгч байв.

Талархал: Энэхүү судалгааны ажлыг гүйцэтгэхэд дэмжлэг үзүүлсэн АШУҮИС-ийн Био-Анагаахын сургуулийн Молекул биологи-Удамзүйн тэнхим, Био-Анагаахын хүрээлэн, Этүгэн их сургуулийн хамт олонд гүн талархал илэрхийлье.

Ёсзүйн асуудал: Судалгаа хийх ёс зүйн зөвшөөрлийг АШУҮИС-ийн Судалгааны Ёс зүйн хяналтын хорооны 2022 оны 02 сарын 18 өдрийн дугаар №2022/3-02 хурлаар хэлэлцүүлсэн. Мөн АШУҮИС-ийн Судалгааны ёс зүйн хяналтын хорооны 2025 оны 06 сарын 12 өдрийн хурлын шийдвэрээр судалгааны ажлын ёс зүйн дүгнэлт гаргуулсан. (Протокол №24-25/10-2)

Номзүй

1. Balaban N, Rasooly A. *Staphylococcal enterotoxins*. *International journal of food microbiology*. 2000;61(1):1-10.
2. Le Loir Y, Baron F, Gautier M. *Staphylococcus aureus* and Food Poisoning. Laboratoire de Microbiologie. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, Institut Nationale de la Recherche Agronomique, France. Published online 2003.
3. Sospedra I, Soler C, Manes J, Soriano JM. Rapid whole protein quantitation of *staphylococcal enterotoxins* A and B by liquid chromatography/mass spectrometry. *Journal of chromatography A*. 2012;1238:54-59.
4. Vázquez-Sánchez D, Habimana O, Holck A. Impact of food-related environmental factors on the adherence and biofilm formation of natural *Staphylococcus aureus* isolates. *Current microbiology*. 2013;66(2):110-121.
5. Otto M. *Staphylococcal biofilms*. *Bacterial biofilms*. Published online 2008:207-228.
6. Bohn C, Rigoulay C, Chabelskaya S, et al. Experimental discovery of small RNAs in *Staphylococcus aureus* reveals a riboregulator of central metabolism. *Nucleic Acids Research*. 2010;38(19):6620-6636. doi:10.1093/nar/gkq462
7. Azara E, Piras MG, Parisi A, Tola S. Antimicrobial susceptibility and genotyping of *Staphylococcus aureus* isolates collected between 1986 and 2015 from ovine mastitis. *Veterinary Microbiology*. 2017;205:53-56. doi:10.1016/j.vetmic.2017.05.006
8. Flemming HC, Wingender J. The biofilm matrix. *Nature reviews microbiology*. 2010;8(9):623-633.
9. Cramton SE, Gerke C, Schnell NF, Nichols WW, Götz F. The Intercellular Adhesion (*ica*) Locus Is Present in *Staphylococcus aureus* and Is Required for Biofilm Formation. Kaufmann SHE, ed. *Infect Immun*. 1999;67(10):5427-5433. doi:10.1128/IAI.67.10.5427-5433.1999
10. Okshevsky M, Meyer RL. The role of extracellular DNA in the establishment, maintenance and perpetuation of bacterial biofilms. *Critical reviews in microbiology*. 2015;41(3):341-352.
11. Tang J, Chen J, Li H, Zeng P, Li J. Characterization of adhesin genes, staphylococcal nuclease, hemolysis, and biofilm formation among *Staphylococcus aureus* strains isolated from different sources. *Foodborne Pathogens and Disease*. 2013;10(9):757-763.
12. Atshan SS, Nor Shamsudin M, Sekawi Z, et al. Prevalence of adhesion and regulation of biofilm-related genes in different clones of *Staphylococcus aureus*. *BioMed Research International*. 2012;2012(1):976972.
13. Mahmoudi K, Garvey K, Bouras A, et al. 5-aminolevulinic acid photodynamic therapy for the treatment of high-grade gliomas. *Journal of neuro-oncology*. 2019;141(3):595-607.
14. Mishra S, Horswill AR. Heparin mimics extracellular DNA in binding to cell surface-localized proteins and promoting *Staphylococcus aureus* biofilm formation. *Mosphere*. 2017;2(3):10-1128.
15. Kroning IS, Iglesias MA, Sehn CP, Gandra TKV, Mata MM, da Silva WP. *Staphylococcus aureus* isolated from handmade sweets: Biofilm formation, enterotoxigenicity and antimicrobial resistance. *Food microbiology*. 2016;58:105-111.

ABSTRACT

ASSESSMENT OF THE BIOFILM-FORMING
ABILITY OF STAPHYLOCOCCUS AUREUS

Д.Амгаланзаяа^{1,2}, Б.Батзаяа³, Р.Уранчимээ⁴, М.Бадмаараг⁴, Ж.Сарантуяа¹, Я.Мөнхдэлгэр¹

¹АШУУИС, БАС, Молекулбиологи-Удамзүйн тэнхим

²ЭИС, ЭМС, Био-Анагаахын тэнхим

³Меданалитик лаборатори

⁴Хэнтий аймгийн нэгдсэн эмнэлэг

⁵АШУУИС, Био-Анагаахын хүрээлэн

Staphylococcus aureus (*S. aureus*) is a clinically significant pathogen widely distributed in food production environments. Its ability to form biofilms on food contact surfaces enhances environmental persistence, increases antibiotic resistance 10–1500-fold, and poses serious challenges for food safety and public health. In Mongolia, data on the biofilm-forming ability of *S. aureus* in meat processing and retail environments are limited. A cross-sectional study was conducted on 437 samples collected from meat supply and retail sites, including raw meat, aprons, counters, trolleys, and workers' hands. Isolation and confirmation of *S. aureus* were performed using MNS 6308:2012 and ISO 6888-1:2021 standards, followed by PCR amplification of the species-specific *nucA* gene (270 bp). Biofilm formation was evaluated using the microtiter plate assay with 0.5% glucose-supplemented tryptic soy broth and optical density at 490 nm, and confirmed by scanning electron microscopy (SEM). Statistical analyses were performed using chi-square tests with $p < 0.05$ considered significant. Of the 437 samples, 14.2% (62/437) were contaminated with *S. aureus*. Contamination was higher in retail markets (25.9%) than supply sites (9.3%). Among isolates, 40.3% exhibited biofilm-forming ability: 29.0% weak, 9.7% moderate, and 1.6% strong. Biofilm formation did

not significantly differ by sampling site or sample type ($p > 0.05$). SEM imaging revealed distinct biofilm architectures with polysaccharide matrices at 80,000× magnification. A considerable proportion of *S. aureus* isolates from meat processing and retail environments exhibited biofilm-forming ability, posing a potential risk for cross-contamination and persistent foodborne transmission. Strengthened hygiene and sanitation measures are essential to control biofilm-associated *S. aureus* contamination in Mongolia's meat production and supply chain.