Толстун Денис Олександрович, науковий співробітник лабораторії фізіології ДУ &laquo;Інститут геронтології НАМН України ім. Д.Ф. Чеботарьова&raquo;. Назва дисертації: &laquo;Вплив гіпоксично-гіперкапнічного середовища на фізіологічні показники і старіння лабораторних тварин&raquo;. Шифр та назва спеціальності 03.00.13 фізіологія людини і тварин. Спецрада Д26.001.38 Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Національна академія медичних наук України

ДУ «Інститут геронтології імені Д. Ф. Чеботарьова»

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця

 на правах рукопису

ТОЛСТУН ДЕНИС ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 612.68-019:612.22

ДИСЕРТАЦІЯ

ВПЛИВ ГІПОКСИЧНО-ГІПЕРКАПНІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА

ФІЗІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ І СТАРІННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ТВАРИН

03.00.13 - фізіологія людини і тварин

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,

результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Підпис: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Науковий керівник: д.б.н., с.н.с. Мурадян Хачік Казарович

Київ-2021

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ...................................................................... 17

ВСТУП........................................................................................................................ 18

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ........................................................................... 24

1.1. Еволюційні зміни газового складу атмосфери................................................ 24

1.2. Вплив гіперкапнії і гіпоксії на старіння ....................................................... 25

1.3. Гіперкапнічно-гіпоксичне середовище і екстремальне довголіття........... 27

1.4. Вплив на організм інертних газів.................................................................. 29

1.4.1. Протекторні властивості інертних газів ..............................................36

1.5. Кислотно-лужна рівновага і довголіття ссавців .......................................... 39

1.6. Ультрафіолетове опромінення ...................................................................... 40

1.7. Тепловий шок.................................................................................................. 44

1.9 Робота білків роз'єднання окислення і фосфорилювання ........................... 48

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ........................................... 49

2.1. Об'єкти дослідження....................................................................................... 49

2.2. Штучна атмосфера.......................................................................................... 50

2.3. Швидкість газообміну .................................................................................... 51

2.4. Спонтанна рухова активність ........................................................................ 52

2.5. Споживання їжі та води ................................................................................. 52

2.6. Температура ядра і поверхні тіла мишей ..................................................... 53

2.7. Модель діабету І типу .................................................................................... 53

2.8. Аналіз експресії генів..................................................................................... 53

2.9. Глюкозотолерантний тест.............................................................................. 55

2.10. Аналіз плазми крові...................................................................................... 55

2.11. Аналіз лактату мозку.................................................................................... 55

2.12. Швидкість загоєння ран ............................................................................... 56

2.13. Активність супероксиддисмутази............................................................... 56

2.14. Активність каталази...................................................................................... 57

2.15. Кислотно-лужна рівновага........................................................................... 57

15

2.16. Стрес-тести.................................................................................................... 57

2.16.1. Тепловий шок.............................................................................................57

2.16.2. Ультрафіолетовий стрес .......................................................................58

2.16.3. Аліментарна депривація..........................................................................59

2.17. Методи статистичної обробки результатів ................................................ 59

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ............................................................. 60

3.1. Інтенсивність окисних процесів і тривалість життя ................................... 60

3.1.1. Філогенетичні детермінанти довголіття..............................................62

3.1.2. Кислотно-лужна рівновага і тривалість життя ссавців ....................63

3.2. Вплив гіпоксії і гіперкапнії на інтенсивність газообміну і температуру

тіла у молодих і старих самців лінії СВА ........................................................... 65

3.2.1. Контроль.....................................................................................................68

3.2.2. Азот .............................................................................................................74

3.2.3. Водень ..........................................................................................................80

3.2.4. Гелій .............................................................................................................84

3.2.5. Аргон ............................................................................................................89

3.2.6. Кисень ..........................................................................................................93

3.2.7. Вуглекислий газ...........................................................................................97

3.3. Вплив ГГС на газообмін у самок мишей лінії С57Bl/6............................. 102

3.3.1. Контроль...................................................................................................103

3.3.2. Азот ...........................................................................................................104

3.3.3. Гелій ...........................................................................................................104

3.3.4. Аргон ..........................................................................................................105

3.3.5. Водень ........................................................................................................106

3.3.6. Кисень ........................................................................................................106

3.3.7. Вуглекислий газ.........................................................................................107

3.4. Вплив хронічного ГГС на функціональний стан мишей.......................... 109

3.4.1. Газообмін Vo2 і Vco2 .................................................................................111

3.4.2. Температура поверхні тіла.....................................................................111

3.4.3. Споживання їжі і води ............................................................................112

16

3.4.4. Маса внутрішніх органів .........................................................................113

3.4.5. Показники крові ........................................................................................114

3.4.6. Вміст лактату у мозку ...........................................................................117

3.4.7. Пероральний тест толерантності до глюкози....................................118

3.4.8 Вплив ГГС на експресію генів ucp-2 та hsp-90.......................................119

3.5. Стрепотозотоцинова модель діабету I типу............................................... 121

3.6. Загоєння ран в умовах ГГС.......................................................................... 122

3.7. Вплив штучної атмосфери на детермінанти довголіття дрозофіл........... 124

3.7.1. Швидкість продукції О2 ..........................................................................124

3.7.2. Спонтанна рухова активність...............................................................125

3.7.3. рН гомогенатів .........................................................................................126

3.7.4. Активність супероксиддисмутази.........................................................127

3.7.5. Активність каталази ..............................................................................127

3.8. Життєздатність дрозофіл, інкубованих у штучних атмосферах.............. 128

3.8.1. Стійкість дрозофіл, що утримуються в штучних атмосферах, до

опромінення ультрафіолетом...........................................................................129

3.8.2. Виживаність дрозофіл, що утримуються в модифікованих

атмосферах, до і після опромінення ультрафіолетом..................................132

3.8.3. Вплив штучних атмосфер на виживаність після теплового шоку....136

3.8.4. Сполучення теплового шоку з опроміненням ультрафіолетом..........137

3.8.5. Аліментарна депривація..........................................................................138

3.9. Вплив ША на вікову динаміку смертності і тривалість життя дрозофіл 142

3.9.1. Концентрації He і Ar, що лінійно зростають або зменшуються.......145

РОЗДІЛ 4. ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ............................. 148

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ......................................................................................... 167

Додаток 1.................................................................................................................. 193

ОБГОВОРЕННЯОТРИМАНИХРЕЗУЛЬТАТІВ

Старінняєпідсумковимрезультатомпостійногопротистояннявеликої

кількостіруйнівнихівідновлювальнихзовнішніхтавнутрішніхфакторівУ

багатоклітиннихорганізмівнажальруйнаціяйдешвидшеніжвідновлення

щопризводитьдонакопиченняпорушеньнавсіхрівняхбіологічноїорганізації

зниженняжиттєздатностіісмертіорганізмуВіковізмінивідбуваютьсяу

всьомуорганізмуідлятогощобуспішнопротистоятитотальностівікових

порушеньпотрібноматиадекватніуніверсальніконтрвпливиЕнергіяі

температураєоднимзнебагатьохфакторівяківідповідаютьвсімвимогам

такоїуніверсальностіТомуцілеспрямованамодуляціягенераціїенергіїі

терморегуляціїєнайбільшбагатообіцяючимипідходамиуповільненнястаріння

таподовженнятривалостіжиття

Результатипроведенихнамипорівняльнофізіологічнихдосліджень

свідчатьпротещоособливостістарінняідовголіттявзначніймірівизначені

основнимиморфофізіологічнимипараметрамиорганізмузокремаінтенсивністюметаболізмутемпературоютілаі

надійністюфункціонуваннякислотнолужногогомеостату

Інтенсивністьметаболізмузаймаєособливеположеннявцьомусписку

оскількиїїзниженняприводитьдоістотногоподовженняжиттянетількина

філогенетичнихалеінаонтогенетичнихмоделяхУцьомузвязку

пошукнеінвазивнихшляхівзниженняенергетичнихвитратотримуєособливу

значимістьоскількивсіпроцесижиттєдіяльностіорганізмуенергозалежніа

отжеуправліннягенерацієюенергіїможестатиключемдляцілеспрямованих

змінпрактичновсіхбіологічнихпроцесівОсновноюскладністюможестати

вибіроптимальнихрежимівтакогоуправліннямінімізаціяйогонегативних

наслідківатакожвиробленняспособівістратегіїйоговикористаннядля

розвязанняконкретнихбіологічнихімедичнихпроблем

Усамомузагальномувидігенераціюенергіїможнаописатирівнянням



↔

деі–органічнасполукадоіпісляокислюванняізчисломатомів

вуглецювідповіднорівнихі



Яквідомоіззаконівкінетикихімічних

реакційшвидкістьпрямоїреакціїописуєтьсярівняннямпрпр∙∙а

швидкістьзворотноїреакціїзвзв∙∙Сдепрізв–константипрямоїі

зворотноїреакційОскількиконцентраціїізвичайнорівніабо

близькітопідсумковийрезультатгенераціїенергіїнасампередповинен

визначатисяпарціальнимтискомОіСОуклітинахОтжеваріюваннямРоі

Рсоватмосферіможнамодифікувативідповідніпараметривклітинахітим

самимцілеспрямованозмінюватиінтенсивністьобміннихпроцесів

Вцьомузвязкуважливоврахуватитещозародженняжиттяатакож

основначастинаеволюціївідбуваласяватмосферідевмістСОбувнапорядки

вищийніжОПояваавтотрофівщосинтезуютьорганічні

сполукизнеорганічнихівякостіпобічногопродуктуприцьомувиділяютьО

означалапочатоккоеволюціїатмосфериіживихсистемЗміни

атмосферистимулювалипошукновихсистемадаптаціїінішперебуванняа

наростаючамасаживихобєктівіндукувалачерговийциклзмінатмосфери

ЛишепорівнянонедавнозаеволюційнимиміркамикількістьОватмосфері

почаластрімкоростиівнашіднівженевмістСОнапорядкиперевищує

вмістОякцебулопротягомбільшоїчастиниеволюційногорозвиткуа

навпротикількістьОперевищуєвмістСОвразівВиживанняв

умовахвисокихконцентраційтакоготоксичногоігенотропногофакторуяк

кисеньякийкрімвсьогоіншогоіндукуєвиникненнявільнихрадикалів

очевидностимулювалостворенняновихзахиснихіадаптивнихсистемякі

берутьучастьупідтримцірівновагивантиоксиданнихрепаративних

окислювальновідновнихікислотнолужнихпроцесахТакізмінище

більшеускладнилиібезтогоскладнубіологічнуорганізаціющозробилоїї

меншнадійноюіенергетичнобільшвитратноюПринаймнічастковоцим

можнапояснититещоприутримуваннісучаснихвидівтваринусередовищах

звисокимвмістомСОіпропорційнонизькимвмістомОгазовийскладяких



нагадуєеволюційнодревніатмосфериДАвониочевидноможуть

відключитиабопослабитинавантаженнянанещодавновеволюційному

планіпридбаніітомучастонедостатньоефективнізахиснісистеми

Теоретичноцеповиннознизитиінтенсивністьметаболічнихвитратіпідвищити

життєздатністьЯкпоказалирезультатинашихекспериментівдійсно

утримуваннявумовахДАзнижуєрівеньметаболічнихвитратпідвищує

життєздатністьустресорнихумовахізбільшуєтривалістьжиттяТЖ

ВажливотещоДАдозволяютьвирішитипроблемумодуляціїметаболічних

процесівзмінімальноюінвазієютомущозмінигазовогоскладуатмосфери

діютьчерезеволюційнодобревідшліфованіканалипрямихізворотних

звязківБільшетогоіснуваннябезлічігазоподібнихзєднаньісхемїхнього

застосуваннязбільшуєймовірністьтогощоприретельному

експериментальномупідборібудутьзнайденіваріантизпотрібнимиефектами

Сказанеробитьштучніатмосфериізокремасередовищащонагадують

ДАбагатообіцяючимиіуніверсальнимизасобамиякдлякерування

нормальнимифізіологічнимипроцесамитакідляпрофілактикиілікування

патологічнихпорушеньВажливотещонавідмінувіднайчастішетоксичних

медикаментознихзасобівнаприкладантибіотиківііншихінгібіторів

метаболізмувпливизадопомогоюштучнихатмосферповязанізмінімальною

зовнішньоюінвазією

Унашійроботізробленаспробазясувативпливгіпоксичних

гіпероксичнихігіперкапнічнихатмосферякістворювалисьзадопомогою

додаваннядоповітряНеінаінтенсивністьгазообміну

руховуактивністьантиоксидантнийзахисткислотнолужнурівновагуіінші

детермінантидовголіттяунайбільшпопулярнихвдослідницькійпрактиці

видівтварин–мишейідрозофілОсобливаувагабулаприділенавивченню

впливуштучнихатмосфернаТЖіжиттєздатністьустресорнихумовахАдже

такідослідженнянетількидопомагаютьзрозумітиможливімеханізмидіїалеі

маютьсамостійнезначенняіможутьбутивикористаніприрозробці

відповіднихпротекторнихзасобівВідмінноюрисоюроботиєтещовона



виконананасвоєрідномусплавіпорівняльнофізіологічногоаналізуіпрямих

експериментівналабораторнихтваринахрізноговидувікуістатіВикористані

намитваринибулипаспортизированівирощувалисяіутримувалисявнашій

лабораторіїабоувіваріїДУІнститутгеронтологіїіменіДФЧеботарьова

НАМНУкраїнинастандартнихумовахПорівняльнофізіологічніданіпро

ссавціврізнихвидівбулизібранізвідомихджерелзокремавідкритихбаз

данихі

Уфілогенетичнихдослідженняхзвикористаннямінформаціїпробільш

ніжвидівссавцівбулопоказанощоміжвидовоюТЖірівнем

теплопродукціїіснуєзворотназалежністьздужевисокоювірогідністю

коефіцієнтакореляціїрисПосутіаналогічнірезультатибули

отриманінамиіприаналізізалежностідовголіттязрівнемобміннихпроцесіву

дрозофілінкубованихприрізнихтемпературахрисБуловиявленощо

порядзтакимивідомимидетермінантамидовголіттяякрівеньметаболізмуі

масатілапростіповизначеннюалеосновніпосутіпоказникинаприкладщо

характеризуютькислотнолужнурівновагуабоРсоможутьбутиважливими

факторамищовизначаютьрівеньметаболізмуідовголіттяТакийвисновок

особливочіткопроявляєтьсяприаналізівидівзекстремальнимдовголіттям

якієпредставникамирізнихкласівтваринмолюскрептилія

гігантськаморськачерепахаіссавці–

горбатийкитіголийземлекоп

Такрекордсменомпотривалостіжиттявцарствітваринєдвостулковий

молюскщодоживаєдороківУдвічіменшумаксимальну

тривалістьжиттямаєгорбатийкитякийживедороківтодіяк

черепахадоживаєдороківГолийземлекоп–чемпіонздовголіттявмежах

самоговеликогонадрядуссавців–гризунівВінживебільшероківтакож

істотноперевершуючиродичівпонадрядурис

Прианалізітогощоможедавативищевказанійтваринітакуявнуперевагу

поМТЖнадіншимивидамиусвоємутаксонізагальнимвиявляєтьсязнижений

метаболізмТаккитдосягаєцьогохарактеромдиханняроблячивдиха



протягомсекіпірнаючипідводунахвПрицьомурОпоступово

знижуєтьсяарСОростеЗчерепахоювласнекажучивідбуваєтьсятежсаме

зтієюлишерізницеющовоназдатнапірнатинагодинуУземлекопаподібний

ефектдосягаєтьсязарахунокжиттяпідземлеювеликимиколоніямивнорахз

дужевузькимипроходамиізакупоренимивходамиЯкпоказалипрямівиміри

вмістОіСОунорістаютьпорівняннимиіблизькимиНарешті

мабутьпіддаєсебенайтривалішомуперіодумінімізаціїгазовогоі

субстратногопотоківзариваючисьуморськиймулнастрокдотижня

Примітнощодовгожителемєнетількигорбатийкитавесьпідряд

китоподібнихпредкиякихпоеволюційнимміркампорівнянонедавно–кілька

мільйонівроківтому–жилинасушіалепотімперейшлидожиттявокеані

Представникицьогопідрядуякітакожіснуютьвумовахгіперкапніїігіпоксіїв

середньомуживутьвразидовшеніжссавцівцілому

Заслуговуєнаувагутещозадопомогоюврахуванняметаболічнихі

терморегуляторнихфакторівможнапояснитиздавалосяпарадоксальні

відмінностідовголіттяблизькоспорідненихвидівнаприкладмишейіГЗ

ТакзгіднознашимиоцінкамишвидкістьметаболізмуГЗвразів

нижченіжумишейщоможезабезпечитизбільшеннямаксимальної

тривалостіжиттяприблизновразівтодіякбільшнизькатемпературатілана

можепривестидозбільшеннятривалостіжиттяприблизноврази

Окрімвпливуатмосферинаметаболізмнепотрібнозабуватиіпроінші

шляхиможливоїкорекціїобміннихпроцесівНаприкладспоживанняїжі

швидкістьметаболізмуітемпературатілазазвичайрозглядаютьсяяктісно

взаємоповязанізмінніяківпершучергурегулюютьсягіпоталамусомПроте

детальнішийаналізсвідчитьпротещоїхмішеніімеханізмидіїможутьбути

різнимиінезалежнимиТаквважаютьщоспоживанняїжіконтролюєтьсяв

основномухвостатимядромгіпоталамусатерморегуляціянейронами

преоптичноїобластіаінтенсивністьметаболічнихпроцесівуправляється

віссюгіпоталамусгіпофізщитовидназалоза



Такимчиномспільнадіязазначенихчинників–гіпометаболізмаі

гіпотермії–можебутиосновоюдляприблизнократноїрізницімаксимальної

тривалостіжиттяГЗімишей

ДаніпроекстремальнедовголіттясвідчатьпротещопідвищенняРсоі

зниженняРоможебутиефективнимзасобомуповільненняінтенсивності

метаболічнихпроцесівподовженняжиттяізниженнячастотивіковоїпатології



Зпроведеногонамифілогенетичногоаналізутакожслідуєщодля

довголіттятваринважливінетількитабутиможенестількисередні

величиниалеігомеостатичнастабільністьвідповіднихсистемСама

ідеяпротещовидизвисокоюТЖповинніматибільшстабільнігомеостатичні

системиненоваіобговорюваласябагатьмаОднактакі

обговоренняякправилоносиликонцептуальнийхарактерінебулипідтримані

відповіднимдослідницькимматеріаломНамизробленийтакийкількісний

аналіззадопомогоюзіставленнякоефіцієнтаваріаціїрНкровізвидовою

ТЖмасоютілаірівнемметаболізмууссавціврисВиявилосящо

демонструєвисокодостовірнікореляціїодночаснозвидовоюТЖ–

рівнемметаболізмуімасоютіла–

Філогенетичнийаналізпредставляєтьсяцікавимнетількитомущо

вінєспробоюузагальненнярезультатівбезпрецедентнихзамасштабами

еволюційнихпошуківВінщеіраціональнийімаловитратнийтомущо

проводитьсязметоюодержаннядодатковоїінформаціїзданихяківжебули

використанііншимидослідникамиінебулипризначенідлявивчення

довголіття

Онтогенетичнажчастинадослідженьякцехарактернодляпіонерських

робітскринінговогохарактерубулапроведеназвикористанням

короткоживучихвидівлабораторнихтварин–дрозофілімишейСлід

зазначитищоіснуютьрізніспособистворенняШАзякихперевагунамибуло

відданотакзваномугіперкапнічногіпоксичномусередовищуГГССутьГГС

полягаєвтомущодосліджуванібіологічніобєктивміщуютьусередовищез



обмеженоювентиляцієюУрезультатігазообмінуорганізмуізсередовищем

вмістОуповітріпоступовознижуєтьсяаСОростедонастаннярівноваги

тобтодомоментуколикількістьгазівякідифундуютьізсередовищастає

рівноюкількостівиробленихгазівЦювеличинувкамеріможнапідтримувати

взаданихмежахстабілізуючиатмосферунанеобхідномурівнігіперкапніїі

гіпоксіїВажливоюперевагоюмоделієтещогіперкапніюігіпоксію

створюютьсамівипробуванітваринищодозволяєобійтисябезвикористання

складнихтехногеннихпристосуваньісхемнаслідкизастосуванняякихне

завждипередбачуваніГіперкапніяігіпоксіяприцьомурозвиваються

пропорційноіпоступовобезнебезпечнихдлябіологічнихобєктіврізкихзмін

МодельдозволяєлегкозамінитипропорційнісиметричнізміниОіСОна

асиметричнішляхомдодаванняпевнихкількостейОіСОабоіншихгазівна

початкуабонабудьякомуіншомуетапіекспериментуВажливою

представляєтьсятакожтаобставинащоврезультатіжиттєдіяльностіорганізму

внавколишнєсередовищевиділяєтьсянетількиСОалеібезлічінших

мінорнихгазовихкомпонентівзокремалетучіпохідніароматичнихі

неароматичнихвуглеводнівефірівспиртівамінівмеркаптанівіінВониє

продуктамипевнихбіохімічнихланцюгівтомузмінаїхньогопарціального

тискувповітрінеодмінноповиннавплинутинавідповіднібіохімічніпроцесив

клітинітимсамимстворюючисвоєріднийметаболічнийшумНавідмінувід

більшостііншихмоделейШАватмосферіГГСзберігаютьсявсімінорні

компонентищоповинномінімізувативідповіднішумовівпливина

метаболізмБільшетогоєпідставидуматищоГГСєсамоюдревньою

еволюційновідшліфованоюірозповсюдженоювприродімоделлюШАВона

характернадлявидівякіпроживаютьуглибокихнорахпідземлеюособливов

зимовийчасколиповерхняземліпокриваєтьсяснігомщоутрудняєприродну

вентиляцію

Відомощоеволюційнізмінигазовогоскладуатмосферичастково

відбувалисязавдякифотосинтетичнимаутотрофамурезультатічогочастина

атмосферногоСОбулазаміненанапропорційнукількістьОПриГГСмають



місцетакіжпропорційнііпротилежноспрямованізміниОіСОатмосфери

тількиспрямованіузворотнусторону–вмістСОростеаОзнижуєтьсяТому

ГГСможебутирозглянутеякмодельповерненнядоДАПрицьомудоречно

підкреслитищоперехідіздревніхдосучаснихатмосферочевиднонемав

видимихнеоборотнихабокатастрофічнихнаслідківБільшетогодлясучасних

видівДАєнетількицілкомприйнятноюальтернативоюалеісередовищему

якомувонисебепочуваютькращеіймовірновідчуваютьпевнуностальгію

ДАповиннібутибільшкомфортнимипринаймніутомурозумінніщовони

дозволяютьперейтидорежимівжиттєдіяльностізменшимиенерговитратами

підвищуютьжиттєздатністьустресорнихумовахізабезпечуютьбільше

довголіттяТакотриманінамирезультатипоказуютьщозниженнявмістуОі

особливорістСОватмосферивикликаєістотнеослабленняінтенсивності

окиснихпроцесівСтаріннянемаєпомітноговпливунацейфеномен

РезультатифакторногопоказалищовпливСОатмосферинаоу

мишейхарактеризуєтьсявисокимступенемвірогідностітоді

яквіковівідмінностібулистатистичнонедостовірнимив

Аналогічнікритеріїїхньоївірогідностібулиотриманідляо

івПрицьомудлямолодихістарихсамцівісамокмишей

характернічотирифазнізміниокиснихпроцесівзалежновідвмістуСО

атмосфериПрималихконцентраціяхдопідвищенняСОприводитьдо

парадоксальноїстимуляціїгазообмінуяквидночерезрозширеннякапіляріві

стимуляціїкардіопульмональноїсистемиНаступнепідвищення

вмістуСОдоневикликаєвидимихзмінімовірночерезтещо

організмувдаєтьсяпідтримативідносностабільніРоіРсоукровіітканинах

завдякигіпервентиляціїОднакзоглядунатещоРсоукровібільшостівидів

наземнихссавцівпідтримуєтьсяврайоніммртстприподальшому

підвищеннівмістуСОватмосферігіпервентиляціявженетількинедопоможе

видалитизорганізмувиробленийендогеннийСОанавпротипризведедо

прискореногопроникненняекзогенногоатмосферногоСОурезультатічого

РсонеминучезбільшитьсяіприведедоінгібуванняокиснихпроцесівДійсно



унашихдослідахудіапазоніСОватмосферіспостерігається

прогресивнезниженнярівнягазообмінуприблизноуразівЗниження

теплопродукціїприцьомунастількисильнещотерморегуляційніцентри

очевиднонесправляютьсяіззавданнямпідтримкинормальноїтемператури

тілаівонатакожзнижуєтьсяЯкнамвідомоце–одназдеякихмоделей

хронічногозниженнятемпературитілатеплокровних