

BIOTERMODINAMIKA: TIRIK ORGANIZMLARDA ENERGIYA OQIMI VA MANBALARI**Yo'lbichoyeva Muxlisaxon Oybekjon qizi**

Toshkent davlat universiteti Davolash ishi fakulteti

Gmail: muxlisaxonyulchiboyeva@gmail.com Tel: +998885022907**Rustamova Nafisa Farhodjon qizi**Gmail: rustamovanafisa525@gmail.com Tel: +998903091025**Sattorov Yorqin Karimovich**

Universitet asissenti.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18055194>

Annotatsiya. Ushbu maqola biotermodinamikaning nazariy asoslarini, hujayra darajasidagi energiya oqimini, tirik organizmlarda energiya manbalarini (quyosh energiyasi, fotosintez, kimyoviy energiya, oziq zanjiri), ekologik tizimlardagi energiya aylanishini va biotermodinamikaning amaliy ahamiyatini (tibbiyot, sport, biotexnologiya) chuqur yoritadi.

Termodinamika qonunlari (1- va 2- qonunlar, entropiya, ochiq tizimlar) tiriklik jarayonlarini tushuntirish uchun qo'llaniladi. Hujayra darajasida ATP, metabolizm (anabolizm-katabolizm), mitoxondriya va fermentlarning roli ko'rib chiqiladi. Ekologik jihatdan fotosintez samaradorligi 1-6% (real sharoitda 0.1-8%), oziq zanjirida 10% uzatilish va 90% yo'qotilish statistikasi keltirilgan (2024-2025 ma'lumotlari bo'yicha global fotosintez 3-6% samaradorlikka ega). Inson ta'siri va barqaror rivojlanish muhokama qilinadi. Maqola statistik ma'lumotlar, diagrammalar va rasmlar bilan boyitilgan bo'lib, tibbiyotda metabolik kasalliklar (diabet, NAFLD) va biotexnologiyadagi qo'llanilishiga e'tibor qaratilgan.

Kalit so'zlar: biotermodinamika, energiya oqimi, termodinamika qonunlari, entropiya, ochiq tizimlar, ATP, metabolizm, fotosintez, oziq zanjiri, mitoxondriya, ekologik piramida, gomeostaz, dissipativ tuzilmalar, trofik pog'onalar, barqaror rivojlanish.

Biotermodinamika – termodinamika qonunlarini tirik organizmlarga qo'llash orqali biologik jarayonlarni tushuntiruvchi fan. Ushbu maqola tirik organizmlarda energiya oqimi va manbalari mavzusini chuqur yoritib, quyidagi bo'limlarda taqdim etiladi: biotermodinamikaning nazariy asoslari, hujayra darajasida energiya oqimi, tirik organizmlarda energiya manbalari, biotermodinamika va ekologik tizimlar, hamda biotermodinamikaning amaliy ahamiyati. Maqola berilgan rejalarga asosanib yozilgan bo'lib, har bir bo'limni batafsil bayon qiladi. Maqolada statistik ma'lumotlar, diagrammalar va rasmlar keltirilgan, shuningdek, oxirida foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati berilgan.

Biotermodinamikaning Nazariy Asoslari**Biotermodinamika Tushunchasi va Ahamiyati**

Biotermodinamika – fizikaviy termodinamika qonunlarini biologik tizimlarda qo'llashni o'rganuvchi fan bo'limi. Termodinamika klassik fizikada energiya, issiqlik va entropiya kabi tushunchalarni o'rganadi, biotermodinamika esa bu qonunlarni tirik organizmlarga moslashtiradi.

Tirik organizmlar – bu murakkab, dinamik tizimlar bo'lib, ular doimiy ravishda energiya almashinuvida bo'ladi. Energiya oqimi tiriklikning asosiy shartidir: u hujayralarning o'sishi, ko'payishi, harakatlanishi va atrof-muhitga moslashishini ta'minlaydi.

Biotermodinamikaning ahamiyati shundaki, u biologiyani fizika va kimyo bilan bog'laydi. Masalan, tirik organizmlar yopiq tizimlar emas, balki ochiq tizimlar bo'lib, ular atrof-muhitdan energiya va modda oladi va chiqaradi.

Bu fan tibbiyot, ekologiya va biotexnologiyada qo'llaniladi: kasalliklarning energetik asoslarini tushunish, ekologik muvozanatni saqlash va yangi dori vositalarini ishlab chiqishda muhim rol o'ynaydi. Biotermodinamika orqali biz tiriklikning termodinamik qonunlarga zid emasligini, aksincha, ularga asoslanganligini ko'ramiz. Statistik ma'lumotlarga ko'ra, global fotosintez samaradorligi atigi 0.2% ni tashkil etadi, bu energiya oqimining murakkabligini ko'rsatadi.

Termodinamikaning 1-Qonuni va Tirik Organizmlar

Termodinamikaning birinchi qonuni (energiya saqlanish qonuni) shuni bildiradiki, energiya yaratilmaydi va yo'qotilmaydi, faqat bir shakldan ikkinchisiga o'tadi. Tirik organizmlarda bu qonun energiya almashinuvi jarayonlarida namoyon bo'ladi. Masalan, o'simliklar quyosh energiyasini fotosintez orqali kimyoviy energiyaga (glyukoza shaklida) aylantiradi. Hayvonlar esa oziq-ovqatni hazm qilishda kimyoviy energiyani mexanik (harakat) yoki issiqlik energiyasiga o'tkazadi. Tirik organizmlarda energiya saqlanishi metabolism jarayonlarida kuzatiladi.

Energiya oqimi doimiy bo'lib, organizmlar atrof-muhitdan energiya olib, uni ishlatishadi va qaytaradilar. Bu qonun tiriklikning energetik samaradorligini tushuntiradi: masalan, inson tanasida oziq-ovqatdan olinadigan energiyaning faqat 20-30% ishga aylantiriladi, qolgan qismi issiqlik sifatida chiqariladi. Birinchi qonun tirik organizmlarning energiya balansini saqlashini ta'kidlaydi, ammo u energiya yo'nalishini ko'rsatmaydi – bu ikkinchi qonun vazifasi.

Termodinamikaning 2-Qonuni: Entropiya va Tirikli

Termodinamikaning ikkinchi qonuni entropiya (tartibsizlik darajasi) haqida gapiradi: yopiq tizimlarda entropiya doimiy ravishda oshadi, ya'ni tizim tartibsizlikka intiladi. Bu qonun tiriklikka zid ko'rinishi mumkin, chunki tirik organizmlar yuqori tartiblangan tuzilishga ega (masalan, DNK va oqsillar). Biroq, tirik organizmlar yopiq emas, balki ochiq tizimlar bo'lib, ular atrof-muhitdan past entropiyali energiya olib, yuqori entropiyali chiqindi chiqaradi.

Entropiya va tiriklik o'rtasidagi munosabat shundaki, tirik organizmlar lokal tartibni saqlash uchun global entropiyani oshiradi. Masalan, fotosintezda quyoshning past entropiyali energiyasi ishlatilib, karbonat angidrid va suvdan glyukoza hosil qilinadi, ammo jarayonda issiqlik chiqariladi, bu umumiy entropiyani oshiradi. Ikkinchi qonun tiriklikning doimiy energiya oqimiga muhtojligini tushuntiradi: energiya to'xtasa, entropiya oshib, o'lim sodir bo'ladi.

Bu qonun ekologiyada muhim: tiriklik biosferada entropiyani kamaytiradi, ammo butun Koinotda uni oshiradi. Statistik jihatdan, fotosintezning nazariy maksimal samaradorligi C3 o'simliklarda 4.6% ni tashkil etadi.

Ochiq Sistema Sifatida Tirik Organizmlar

Tirik organizmlar ochiq tizimlar bo'lib, ular atrof-muhit bilan modda va energiya almashinuvida bo'ladi. Yopiq tizimlarda energiya saqlanadi, ammo ochiq tizimlarda energiya oqimi mavjud: kirish (oziq-ovqat, quyosh nuri), chiqish (issiqlik, chiqindilar) va ichki transformatsiya. Bu Ilya Prigojin tomonidan taklif qilingan dissipativ tuzilmalar nazariyasiga asoslanadi – tirik tizimlar energiya oqimi orqali o'z-o'zini tashkil qiladi.

Masalan, inson tanasi ochiq sistema: ovqatdan energiya olib, uni ATP ga aylantiradi va chiqindilar chiqaradi. Ochiq tizimlar termodinamika qonunlariga zid emas, aksincha, ular energiya gradientidan foydalanib, murakkablikni saqlaydi. Bu xususiyat tiriklikning evolyutsiyasini tushuntiradi: oddiy hujayralardan murakkab organizmlargacha rivojlanish energiya oqimi orqali sodir bo'ladi. Ochiq tizimlar nazariyasi biotermodinamikaning markaziy qismi bo'lib, u tiriklikning dinamik muvozanatini ta'minlaydi.

Energiya Oqimining Biologik Muvozanatdagi Roli

Biologik muvozanat – tirik organizmlarning ichki muhitini doimiy saqlash (homeostaz).

Energiya oqimi bu muvozanatni ta'minlaydi: u harorat, pH darajasi va modda konsentratsiyasini nazorat qiladi. Masalan, termoregulyatsiya jarayonida organizmlar energiya sarflab, tanani doimiy haroratda saqlaydi.

Energiya oqimi biologik muvozanatda ikki rol o'ynaydi: birinchidan, u katabolizm orqali energiya ajralishini ta'minlaydi; ikkinchidan, anabolizm orqali tuzilmalarni quradi. Bu oqim buzilsa (masalan, ochlikda), muvozanat buziladi va kasalliklar paydo bo'ladi.

Biotermodinamikada energiya oqimi dissipativ jarayon sifatida ko'riladi: u entropiyani chiqarib, tizimni tartibda saqlaydi. Natijada, energiya oqimi tiriklikning asosiy mexanizmi bo'lib, u ekologik tarmoqlar (oziq-ovqat zanjiri) orqali butun biosferani bog'laydi.

Biotermodinamika nazariy asoslari tirik organizmlarni termodinamika qonunlari orqali tushuntiradi: energiya saqlanishi, entropiya oshishi va ochiq tizimlar xususiyati. Energiya oqimi tiriklikning markaziy elementi bo'lib, u murakkablikni saqlaydi va evolyutsiyani ta'minlaydi. Bu fan biologiya va fizikani birlashtirib, tiriklik sirlarini ochishga yordam beradi.

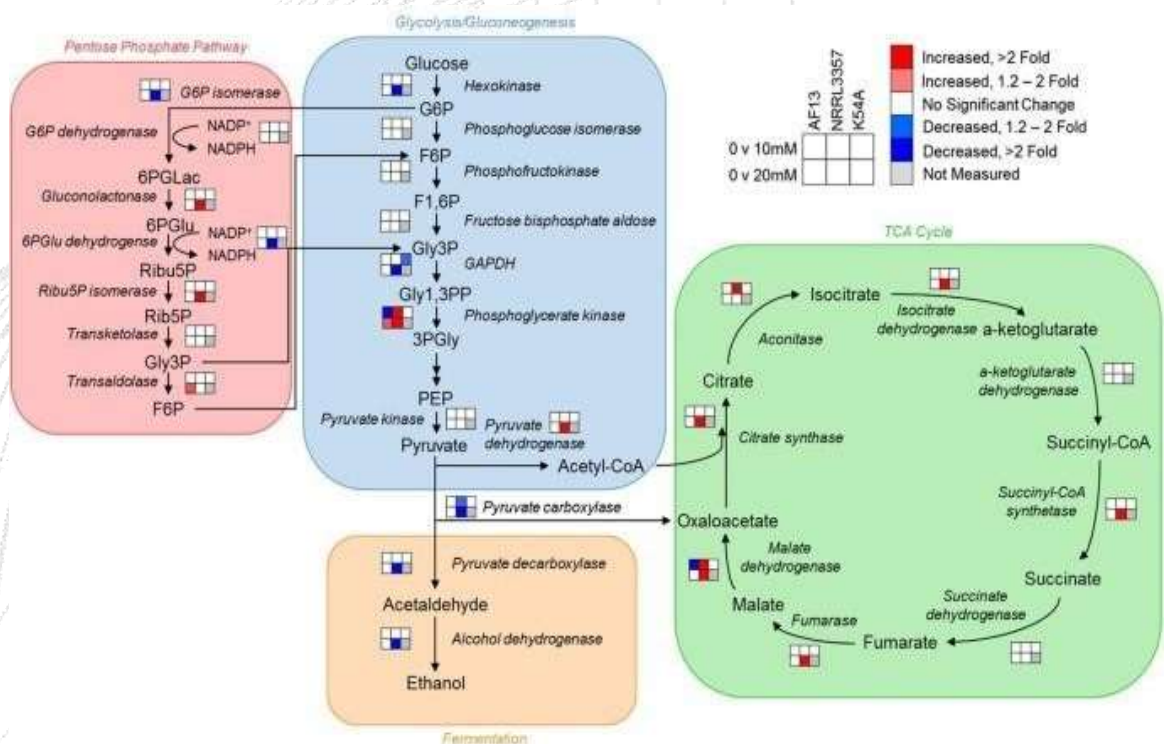
Hujayra Darajasida Energiya Oqimi Hujayra —Energiya Almashinuvi Markazi

Hujayra – tiriklikning asosiy birligi bo'lib, u energiya almashinuvi markazi hisoblanadi.

Har bir hujayrada energiya oqimi doimiy ravishda sodir bo'ladi: atrof- muhitdan modda va energiya olinadi, ichki jarayonlarda ishlatiladi va chiqindilar chiqariladi. Hujayra darajasida energiya oqimi biotermodinamikaning amaliy qo'llanilishi bo'lib, u metabolizm, o'sish va ko'payishni ta'minlaydi.

Hujayralar ochiq tizimlar sifatida ishlaydi: prokaryotlarda (bakteriyalarda) energiya sitoplazmada, evkaryotlarda esa maxsus organellalarda (mitoxondriya, xloroplastlar) oqadi. Bu darajada energiya oqimini o'rganish kasalliklar (masalan, saraton yoki metabolik buzilishlar) sabablarini tushunishga yordam beradi. Statistik ma'lumotlarga ko'ra, 2019 yilda butun dunyoda 43.8 million T2DM (2-tip diabet) holati qayd etilgan, bu energiya almashinuvi buzilishlarining keng tarqalganligini ko'rsatadi.

Quyida metabolik yo'llar diagrammasi keltirilgan:



ATP – Asosiy Energiya Manbai

Adenozin trifosfat (ATP) – hujayralardagi asosiy energiya tashuvchisi. ATP molekulasida yuqori energiyali fosfat bog'lariga ega bo'lib, ularning buzilishi (gidroliz) energiya ajratadi (taxminan 30.5 kJ/mol). ATP "hujayra valyutasi" deb ataladi, chunki u metabolik jarayonlarda universal ishlatiladi.

Energiya oqimida ATP ning roli shuki, u katabolizm jarayonlarida hosil qilinadi (masalan, glikolizda) va anabolizmga sarflanadi (oqsillar sintezi). ATP sintezi mitoxondriyada oksidativ fosforillanish orqali sodir bo'ladi. ATP darajasi hujayra muvozanatini saqlaydi: kamayganda, energiya ishlab chiqarish kuchayadi. Biotermodinamik jihatdan, ATP gidrolizi entropiyani oshirib, hujayra tartibini saqlaydi.

Metabolizm: Anabolizm va Katabolizm

Metabolizm – hujayralardagi kimyoviy reaksiyalar majmui bo'lib, u anabolizm (qurilish) va katabolizm (parchalash) dan iborat. Katabolizmga murakkab moddalar (glyukoza, yog'lar) soddaga parchalanib, energiya (ATP) ajratiladi. Anabolizmga esa energiya sarflab, soddadan murakkab moddalar hosil qilinadi (masalan, DNK sintezi).

Energiya oqimida metabolizm markaziy rol o'ynaydi: katabolizm energiya manbai, anabolizm esa energiya iste'molchisi. Bu ikki jarayon bog'langan bo'lib, ular orqali hujayra energiya balansini saqlaydi. Masalan, glikoliz katabolik jarayon bo'lib, glyukozadan pirovat hosil qilib, 2 ATP beradi. Metabolizm biotermodinamika qonunlariga asoslanadi: katabolizmga entropiya oshadi, anabolizmga esa lokal tartib hosil bo'ladi. 2019 yilda butun dunyoda 1.2 milliard NAFLD (yog'li jigar kasalligi) holati qayd etilgan, bu metabolizm buzilishlarining global muammosini ko'rsatadi.

Mitoxondriya va Energiya Transformatsiyasi

Mitoxondriya – evkaryot hujayralardagi "energiya zavodi" bo'lib, u kimyoviy energiyani ATP ga aylantiradi. Mitoxondriyada Krebs sikli va elektron transport zanjiri sodir bo'ladi, bu yerda oksidativ fosforillanish orqali 1 ta glyukoza molekulasidan 36-38 ATP hosil qilinadi.

Energiya transformatsiyasi mitoxondriyada quyidagicha: oziq-ovqatdan olingan elektronlar kislorodga o'tkazilib, proton gradienti hosil qiladi, bu gradient ATP sintezini ta'minlaydi. Bu jarayon biotermodinamik jihatdan ochiq tizim misoli: mitoxondriya atrof-muhitdan kislorod olib, karbonat angidrid chiqaradi. Mitoxondriya disfunktsiyasi (masalan, mitoxondrial kasalliklarda) energiya oqimini buzadi va hujayra o'limiga olib keladi.

Fermentlar va Energiya Samaradorligi

Fermentlar – biologik katalizatorlar bo'lib, ular reaksiyalar tezligini oshirib, energiya samaradorligini ta'minlaydi. Fermentlar faollashuv energiyasini pasaytirib, metabolik jarayonlarni tezlatadi, ammo termodinamika qonunlarini buzmaydi.

Energiya oqimida fermentlarning roli shuki, ular energiya yo'qotilishini minimallashtiradi: masalan, ATP az gidrolizida fermentlar energiyani samarali ishlatadi.

Fermentlar allosterik regulatsiya orqali energiya oqimini nazorat qiladi – masalan, yuqori ATP darajasida katabolizm sekinlashadi. Biotermodinamikada fermentlar dissipativ tuzilmalar sifatida ko'riladi: ular energiya oqimi orqali hujayra samaradorligini oshiradi, entropiyani chiqarib, tartibni saqlaydi.

Hujayra darajasida energiya oqimi tiriklikning mikroskopik asosini tashkil etadi: ATP, metabolizm, mitoxondriya va fermentlar orqali energiya transformatsiyasi sodir bo'ladi. Bu jarayonlar biotermodinamika qonunlariga asoslanib, hujayra muvozanatini saqlaydi va butun organizm faoliyatini ta'minlaydi.

Ushbu tushunchalar tibbiyot va biotexnologiyada muhim ahamiyatga ega.

Tirik Organizmlarda Energiya Manbalari Energiyasiz Hayot Mumkin Emas

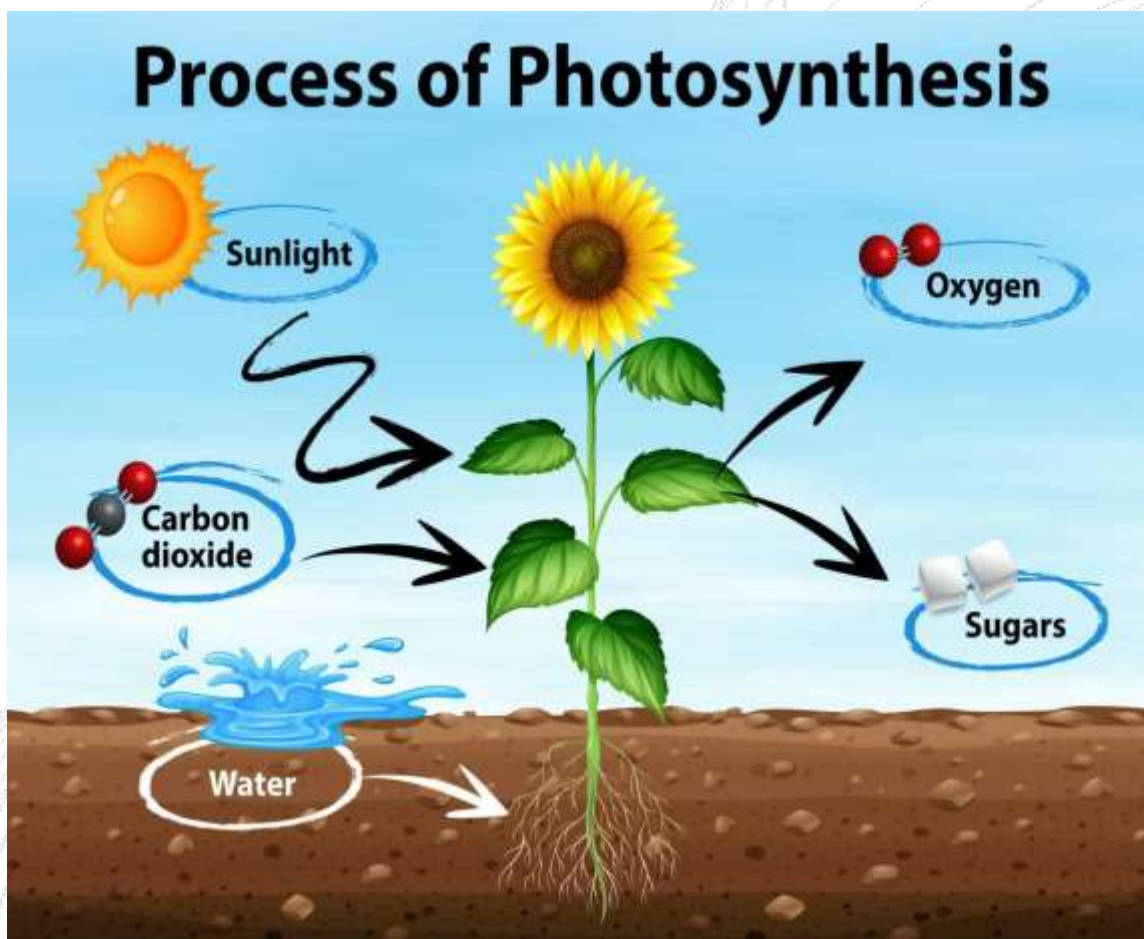
Tirik organizmlar uchun energiya – hayotning asosiy sharti. Energiyasiz hujayralar ishlashi, o'sishi va ko'payishi mumkin emas. Biotermodinamika nuqtai nazaridan, tiriklik doimiy energiya oqimiga asoslanadi: atrof-muhitdan energiya olinadi, ishlatiladi va chiqariladi. Energiya manbalari quyosh nuri, kimyoviy birikmalar va boshqa shakllarda bo'ladi.

Energiyasiz hayot mumkin emasligi termodinamika qonunlari bilan tasdiqlanadi: ikkinchi qonun entropiyani oshiradi, ammo tirik organizmlar energiya orqali lokal tartibni saqlaydi. Statistik ma'lumotlarga ko'ra, global fotosintez orqali yillik energiya ishlab chiqarish 0.2% samaradorlikka ega, ammo bu butun biosferani ta'minlaydi. Ushbu bo'limda energiya manbalari va ularning oqimi muhokama qilinadi.

Quyosh Energiyasi va Fotosintez

Quyosh energiyasi – tirik organizmlarning asosiy energiya manbai. Fotosintez jarayonida o'simliklar, alg'lar va ba'zi bakteriyalar quyosh nurini kimyoviy energiyaga aylantiradi: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Bu jarayon biosferadagi energiya oqimining boshlanishi.

Fotosintez samaradorligi past: nazariy maksimal 4.6% (C3 o'simliklarda), ammo real sharoitda 1-2% atrofida. Quyosh energiyasi avtotroflarni (o'simliklar) ta'minlab, butun oziq zanjirini quvvatlaydi. Quyida fotosintez jarayoni diagrammasi keltirilgan:



Kimyoviy Energiya va Geterotrof Organizmlar

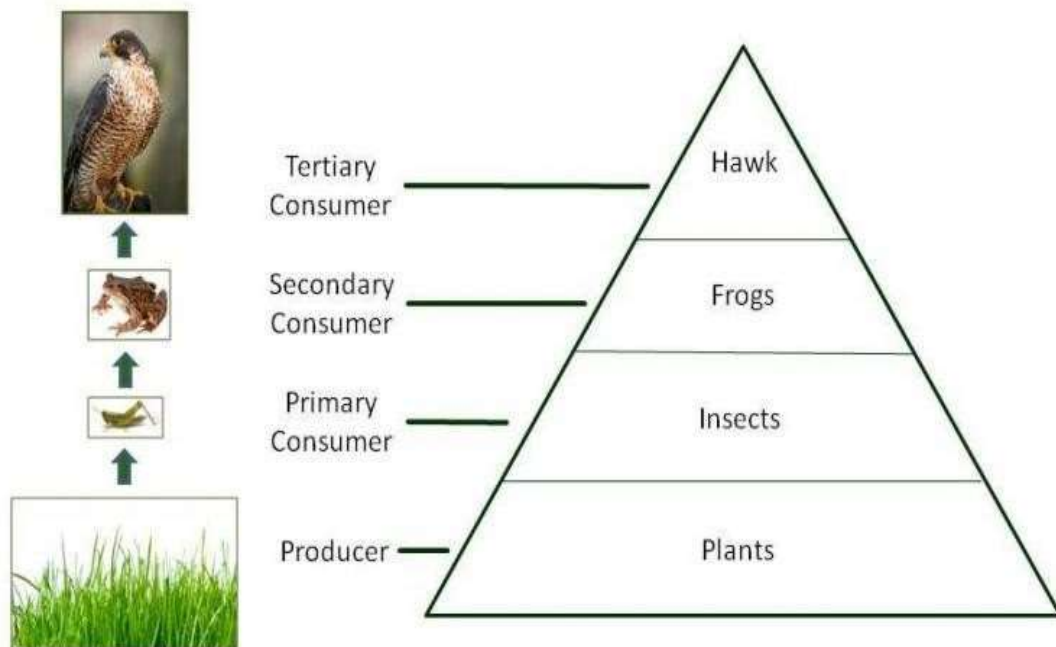
Geterotrof organizmlar (hayvonlar, zamburug'lar) energiyani oziq-ovqatdagi kimyoviy birikmalardan oladi. Ular avtotroflarni iste'mol qilib, glyukoza va boshqa moddalarni parchalanib, ATP hosil qiladi. Kimyoviy energiya metabolizm orqali transformatsiya qilinadi: glikoliz, Krebs sikli va oksidativ fosforillanish.

Geterotroflar energiyani bevosita quyoshdan emas, balki oziq zanjiri orqali oladi. Statistika jihatdan, insonlar yillik o'rtacha 61 GJ energiya iste'mol qiladi.

Oziq Zanjiri va Energiya Uzatilishi

Oziq zanjiri – energiya uzatilishining ekologik tizimi. Avtotroflar (ishlab chiqaruvchilar) energiyani quyoshdan oladi, keyin iste'molchilar (geterotroflar) va parchalanuvchilar orqali o'tadi.

Energiya uzatilishi samarasiz: har bir trofik darajada faqat 10% energiya o'tadi, 90% issiqlik sifatida yo'qoladi. Bu zanjir uzunligini cheklaydi. Quyida oziq zanjiri energiya piramidasi diagrammasi:



Energiya Yo'qotilishi va Entropiya

Energiya yo'qotilishi ikkinchi qonunga asoslanadi: har bir transformatsiyada entropiya oshadi. Oziq zanjirida 90% energiya issiqlik shaklida yo'qoladi.

Entropiya tiriklikni cheklaydi, ammo ochiq tizimlar orqali saqlanadi. Statistika ma'lumotlariga ko'ra, global fotosintez yo'qotilishi 4.11-13.52% ni tashkil etadi.

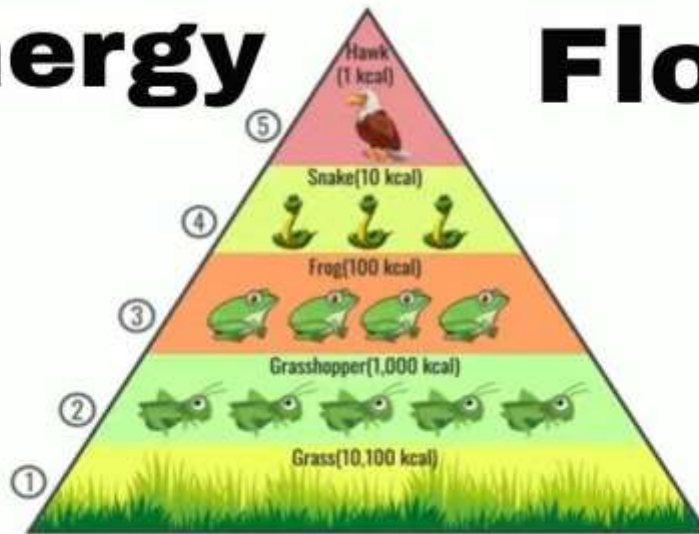
Tirik organizmlarda energiya manbalari quyosh va kimyoviy birikmalarga asoslanadi. Energiya oqimi oziq zanjiri orqali uzatiladi, ammo yo'qotilishlar katta. Bu biotermodinamikaning asosiy tamoyillarini tasdiqlaydi.

Bietermodinamika va Ekologik Tizimlar Energiya Oqimi va Biosfera

Bietermodinamika ekologik tizimlarda energiya oqimini o'rganadi. Biosfera – ochiq sistema bo'lib, quyosh energiyasi orqali ishlaydi.

Energiya oqimi biosferani saqlaydi, ammo inson ta'siri uni buzadi. Statistika jihatdan, global ekologik footprint 1.7 marta biocapacity dan oshadi. Quyida ekosistema energiya oqimi diagrammasi:

Energy Flow



Ekotizimlarda Energiya Aylanishi

Ekotizimlarda energiya aylanishi quyoshdan boshlanib, trofik darajalar orqali o'tadi.

Aylanish dissipativ: energiya doimiy yo'qoladi.

Biotermodinamika bu aylanishni ochiq tizim sifatida tushuntiradi. Masalan, o'rmon ekosistemasida fotosintez asosiy manba.

Trofik Pog'onalar va Energiya Samaradorligi

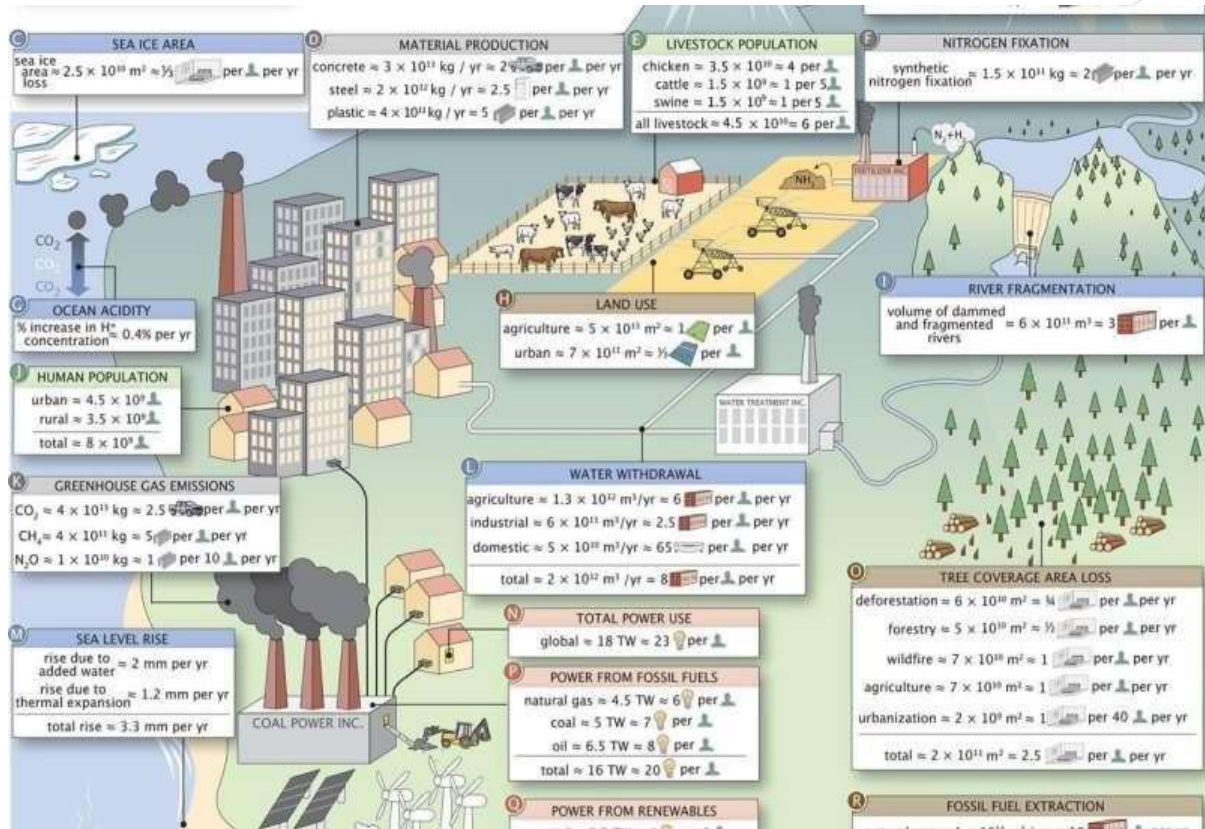
Trofik pog'onalar (ishlab chiqaruvchilar, iste'molchilar) energiya samaradorligini belgilaydi. Har bir pog'onada 10% energiya o'tadi.

Samaradorlik ekologik muvozanatni ta'minlaydi. Statistik ma'lumotlarga ko'ra, food chain efficiency (FCE) ekosistemalarda o'zgaruvchan.

Inson Faoliyatining Energiya Balansiga Ta'siri

Inson faoliyati (sanoat, qishloq xo'jaligi) energiya balansini buzadi: CO₂ emissiyalari, o'rmonlar kesilishi.

Statistik jihatdan, insonlar 20-30% tabiiy energiyani o'zgartiradi. Quyida inson ta'siri infografikasi:



Biotermodinamika va Barqaror Rivojlanish

Biotermodinamika barqaror rivojlanishda energiya samaradorligini optimallashtiradi: yangi energiya manbalari, ekologik modellar.

Bu fan global isinishni oldini olishga yordam beradi.

Biotermodinamika ekologik tizimlarda energiya oqimini tushuntiradi. Inson ta'siri muhim muammo, ammo barqarorlik uchun asos yaratadi.

Biotermodinamikaning Amaliy Ahamiyati

Fanlararo Yo'nalish Sifatida Biotermodinamika

Biotermodinamika fanlararo: biologiya, fizika, tibbiyotni birlashtiradi.

Amaliy ahamiyati energiya almashinuvi optimallashtirishda.

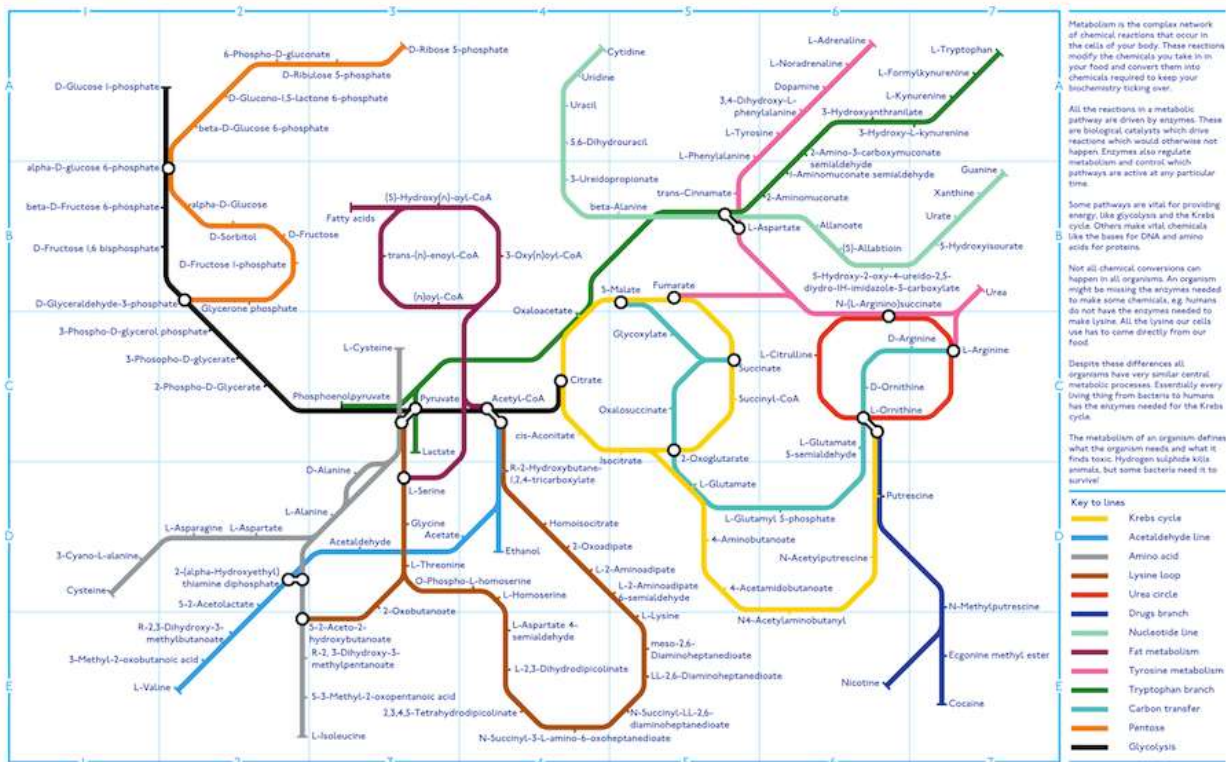
Statistik ma'lumotlarga ko'ra, metabolik kasalliklar global yuk 226 million DALY (hypertension).

Tibbiyotda Energiya Almashinuvi (Modda Almashinuvi Kasalliklari)

Tibbiyotda biotermodinamika metabolik kasalliklarni (diabet, semizlik) tushuntiradi. Energiya buzilishi kasalliklar sababi.

2019 yilda 43.8 mln T2DM, 18.5 mln HTN holati. Quyida metabolik yo'llar diagrammasi:

Metabolism map



Sport va Fiziologiyada Energiya Sarfi

Sportda energiya sarfi 1500-6000 kcal/kun. Biotermodinamika samaradorlikni oshiradi. Fiziologiyada energiya oqimi mushak ishini tushuntiradi.

Biotexnologiya va Energiya Optimallashtirish

Biotexnologiyada biotermodinamika fermentatsiya va bioenergiyani optimallashtiradi. Yangi texnologiyalar energiya samaradorligini oshiradi.

Kelajakdagi Ilmiy Tadqiqotlar

Kelajakda biotermodinamika AI va nanotexnologiya bilan birlashadi. Tadqiqotlar energiya oqimini modellashtiradi.

Biotermodinamikaning amaliy ahamiyati tibbiyot, sport va biotexnologiyada katta. Bu fan kelajakdagi muammolarni hal qiladi.

Foydalanilgan Adabiyotlar

1. Schrödinger, E. (1944). What is Life? Cambridge University Press.
2. Ozilgen, M., & Sorgüven, E. (2017). Biothermodynamics: Principles and Applications. CRC Press.
3. Von Stockar, U. (2013). Biothermodynamics: The Role of Thermodynamics in Biochemical Engineering. EPFL Press.
4. Atkins, P., & de Paula, J. (2011). Physical Chemistry for the Life Sciences. Oxford University Press.
5. Zhu, X.G., et al. (2010). Improving photosynthetic efficiency for greater yield. Annual Review of Plant Biology.
6. Global Burden of Disease Study (2019). The global burden of metabolic disease: Data from 2000 to 2019. Cell Metabolism.