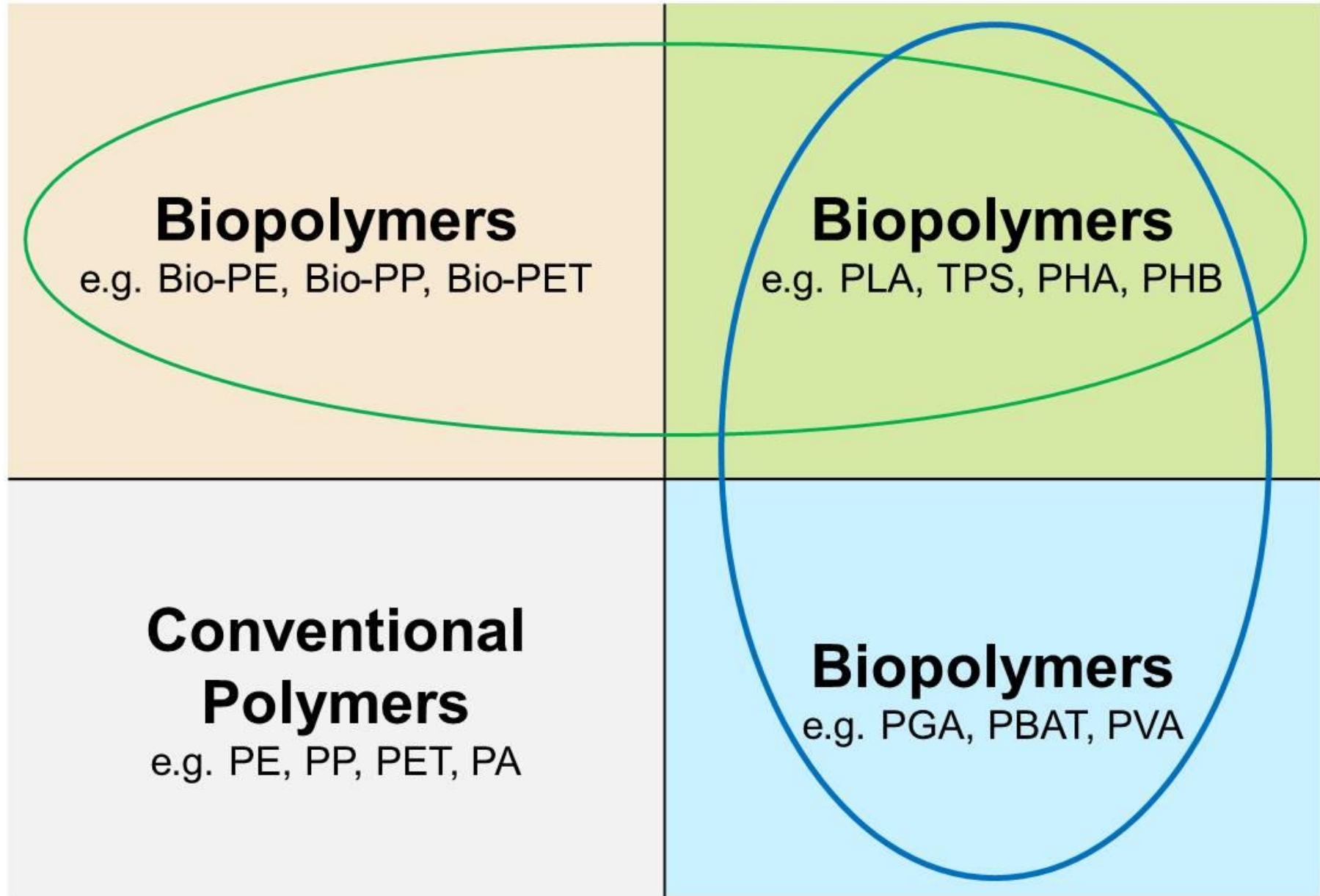


Экономикалық және
экологиялық аспектілері:
өзіндік құны, өмірлік циклі,
мұнай полимерлерімен
салыстыру.

Renewable raw materials

*Not
biodegradable*

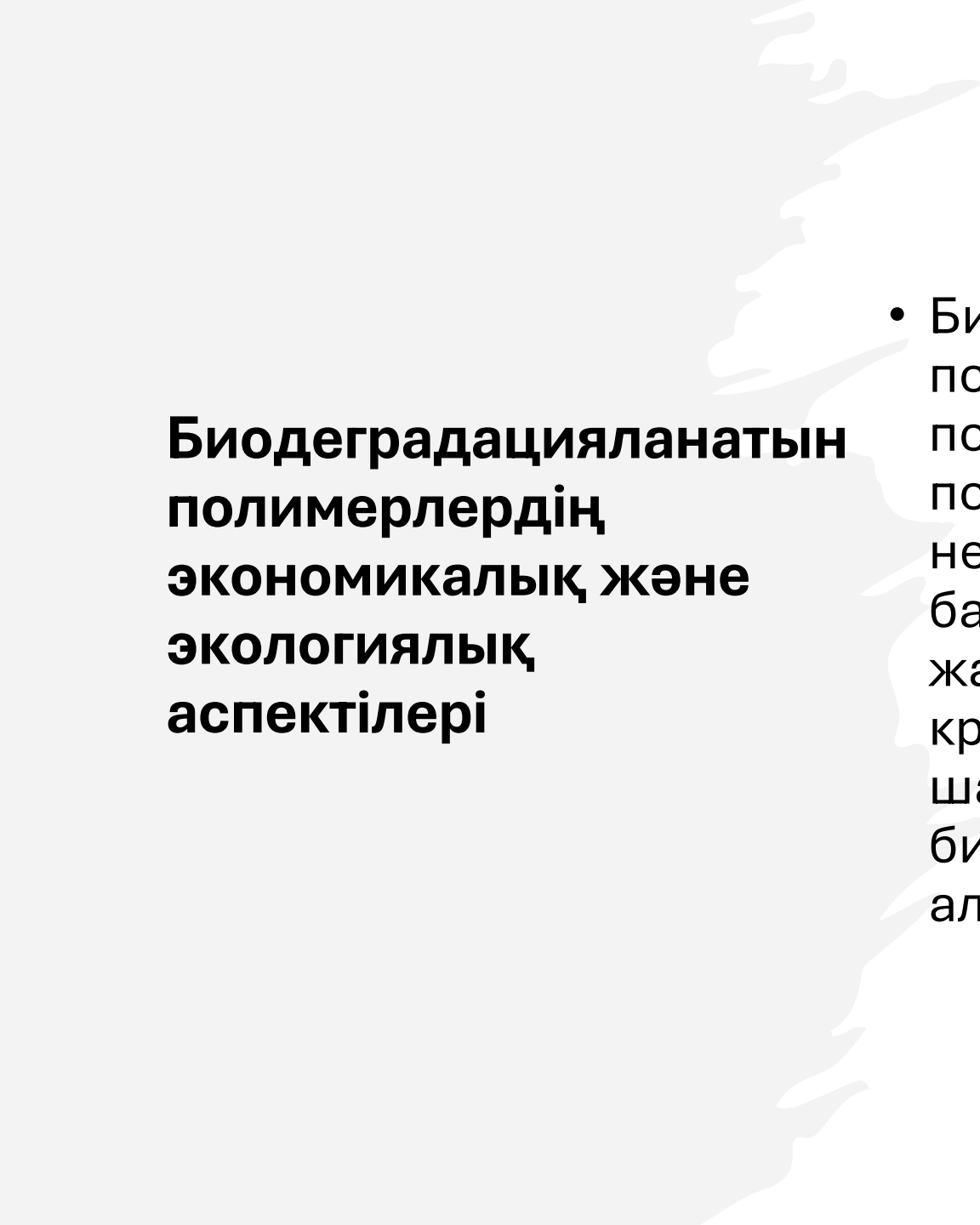
biodegradable



petroleum-based raw materials

Биополимер нарығына әсер ететін факторлар

Технологические	1. Достижения в области молекулярной биологии, способах ферментации, генной инженерии и селекции растений
	2. Прогресс в области создания композитов и компаундирования
	3. Реализация крупномасштабных, экономических проектов
	4. Осуществление «органического» рециклинга вместо механического
Экономические	1. Рост стоимости природных ресурсов
	2. Увеличение затрат на утилизацию отходов
	3. Повышение конкурентоспособности биополимеров за счет пошлин, взимаемых с загрязнителей окружающей среды
Политические	1. Нормативно-законодательные акты
	2. Региональная поддержка
Социальные	1. Лояльное восприятие биополимеров обществом
	2. Экологическая просвещенность потребителей



Биодеградацияланатын полимерлердің экономикалық және экологиялық аспектілері

- Биодеградацияланатын полимерлер (мысалы, полилактикалық қышқыл (PLA), полигидроксиалканоаттар (PHA) және полибутилен сукцинат (PBS)) дәстүрлі мұнай негізіндегі пластиктерге экологиялық тұрақты балама ретінде қарастырылады. Олар жаңартылатын шикізаттардан (мысалы, жүгері крахмалы, қант қызылшасы немесе ауыл шаруашылығы қалдықтары) өндіріледі және биологиялық процестер арқылы ыдырай алады.

Экономикалық аспектілер

- Биодеградацияланатын полимерлердің өзіндік құны әдетте мұнай полимерлерінен жоғары, себебі өндіріс процесі энергияны көп қажет етеді, шикізаттың сапасын бақылау қажет және өндіріс ауқымы әлі шағын. Дегенмен, технологиялық жетістіктер мен ауқымды өндіріс құнын төмендетуде.



Өзіндік құнның негізгі факторлары:

Шикізат: Жаңартылатын ресурстар (мысалы, ауыл шаруашылығы қалдықтары) қолдану өндірісті арзандатуға мүмкіндік береді, бірақ бірінші ұрпақ шикізаттары (астық дақылдары) азық-түлікпен бәсекелеседі және құнын арттырады.

Өндіріс шығындары: Ферментация және полимерлеу сияқты қосымша қадамдар энергия шығынын арттырады. Мысалы, РНА полимерлерінің құны 5 еуро/кг дейін жетуі мүмкін, ал мұнай полимерлері 0.80-1.50 еуро/кг.

Минималды сату бағасы (MSP): Қант қызылшасы қалдықтарынан (SBP) өндірілген PBS үшін 1.37 доллар/кг, PLA үшін 1.14 доллар/кг. Бұл мұнай полимерлерінің нарықтық бағасына (мысалы, GPPS 1.72 доллар/кг) жақын және қосымша өнімдер (пектин) арқылы төмендеуі мүмкін

Өмірлік циклінің экономикалық талдауы (LCC - Life Cycle Costing):



PLA үшін 1.42 доллар/кг, PBS үшін 1.72 доллар/кг, бұл GPPS (2.04 доллар/кг) және BOPP (1.66 доллар/кг) мұнай полимерлерінен төмен немесе тең. Қалдықтарды пайдалану және қосымша өнімдер өндірістің рентабельдігін арттырады, ал мұнай полимерлерінің инфрақұрылымы жақсы дамығандықтан, олардың шығыны тұрақты.



Экономикалық тұрғыдан биополимерлердің нарығы өсуде: 2019 жылы полиолдар нарығы 26.2 млрд доллар болса, 2024 жылға қарай 34.4 млрд долларға жетуі мүмкін. Дегенмен, ауқымды өндіріс және технологиялық инновациялар қажет.

Экологиялық аспектілер

- Биодеградацияланатын полимерлердің экологиялық артықшылықтары өмірлік циклінің талдауында (LCA) көрінеді, ол шикізат алуынан бастап утилизацияға дейінгі барлық кезеңдерді қамтиды. Олардың көміртегі ізі төмен, бірақ ауыл шаруашылығына байланысты су және жер ресурстарына әсер етеді.



Өмірлік циклінің талдауы (LCA):

- Шикізат алу және өндіріс: Жаңартылатын шикізаттар CO₂ сіңіреді, сондықтан GHG шығарындылары 30-42% төмен (мысалы, PLA үшін 25-55% энергия үнемдеу). Био-PBAT үшін 3.72 кг CO₂ экв/кг, ал мұнай негізіндегі үшін 5.89 кг CO₂ экв.
- Пайдалану және утилизация: Компостирлеу немесе анаэробтық дигестия арқылы ыдырау мүмкін, бірақ полигондарда метан шығуы мүмкін (PLA үшін 16-163% арту). Су тұтынуы 1.4-9.5 м³/кг, жер тұтынуы 0.7-13.75 м²/кг.
- Жалпы әсер: Биополимерлердің GHG 7.60-73.75% төмен, энергия тұтынуы 60% азаяды, бірақ эвтрофикация (су ластануы) 400% жоғары болуы мүмкін.

Қалдықтарды басқару:

- Биополимерлер компостирлеуге жарамды (ASTM D6400 стандарты бойынша), бірақ дұрыс емес утилизация микропластиктерге әкелуі мүмкін. Қалдықтарды пайдалану (екінші ұрпақ шикізаттары) әсерді 15-85% төмендетеді



Мұнай полимерлерімен салыстыру

Биодеградацияланатын полимерлер мұнай полимерлерінен (мысалы, HDPE, PP, PET) экологиялық тұрғыдан артық, бірақ экономикалық жағынан әлсіз.

Аспект	Биодеградацияланатын полимерлер (PLA, PBS, PHA)	Мұнай полимерлері (HDPE, PP, GPPS)
Өзіндік құны	Жоғары (1.14-5 еуро/кг); төмендеу үрдісі бар.	Төмен (0.80-2.04 доллар/кг); ауқымды өндіріс арқасында.
Өмірлік циклі (LCA)	Төмен GHG (1.0-1.7 кг CO ₂ /кг), энергия үнемдеу 25-55%; бірақ жер/су тұтынуы жоғары.	Жоғары GHG және энергия тұтынуы (29-46 MJ/кг); ресурстардың сарқылуы.
Экологиялық әсер	Биоыдырау мүмкін, төмен көміртегі ізі; ауыл шаруашылығы trade-off'тары (эвтрофикация +400%).	Ұзақ мерзімді ластану, микропластиктер; қайта өңдеу инфрақұрылымы жақсы.
Артықшылықтар мен кемшіліктер	Тұрақты, жаңартылатын; бірақ өндіріс энергиясы жоғары, азық-түлікпен бәсеке.	Арзан, берік; бірақ қоршаған ортаға зиян, жаңартылмайтын.

Екінші ұрпақ шикізаттары туралы

- Екінші ұрпақ шикізаттары (second-generation feedstocks) биополимерлер мен биоотын өндірісінде қолданылатын жаңартылатын ресурстардың бір түрі болып табылады. Олар бірінші ұрпақ шикізаттарынан (азық-түлік дақылдары, мысалы, жүгері немесе қант қызылшасы) ерекшеленеді, өйткені олар адам немесе жануар тұтынуына жарамсыз материалдардан тұрады және азық-түлік қауіпсіздігімен бәсекелеспейді. Бұл шикізаттар негізінен лигноцеллюлозалық биомассаға негізделген, яғни целлюлоза, гемицеллюлоза және лигнин сияқты құрылымдық компоненттерден тұрады. Олардың пайдалануы тұрақтылықты арттырады, өйткені қалдықтарды қайта өңдеуге және маргиналды жерлерде (өнімділігі төмен жерлерде) өсіруге мүмкіндік береді.

Негізгі сипаттамалары және мысалдары

Екінші ұрпақ шикізаттары биоотын және биополимерлер өндірісінің дамуына байланысты пайда болды. Олардың негізгі ерекшелігі – азық-түлікпен бәсекелеспей және қалдықтарды пайдалану.

- **Ауыл шаруашылығы қалдықтары:** Жүгері сабақтары, күріш қауызы, қант қызылшасы қалдықтары (bagasse), бидай сабаны.
- **Орман қалдықтары:** Ағаш үгінділері, бұтақтар, қабықтар (wood chips).
- **Энергетикалық дақылдар:** Switchgrass (*Panicum virgatum*), miscanthus (*Miscanthus* spp.), қамыс немесе басқа жылдам өсетін шөптер, олар маргиналды жерлерде өсіріледі және жоғары биомасса береді.
- **Басқа қалдықтар:** Қалалық және құрылыс қалдықтарының органикалық бөліктері, бірақ олар әдетте үшінші ұрпаққа жақын болады



Артықшылықтары

- **Экологиялық тұрақтылық:** CO₂ шығарындыларын азайтады, өйткені биомасса өсу кезінде көміртегін сіңіреді. Қалдықтарды пайдалану ластануды төмендетеді және дөңгелек экономикаға ықпал етеді.
- **Азық-түлік қауіпсіздігі:** "Food vs Fuel" дауысын болдырмайды, өйткені азық-түлік дақылдары қолданылмайды.
- **Ресурстарды тиімді пайдалану:** Маргиналды жерлерде өсірілуі мүмкін, ауыл шаруашылығының өнімді жерлерін босатады. Биомасса өнімділігі жоғары (мысалы, switchgrass жылына 10-20 тонна/га береді).
- **Экономикалық потенциал:** Қалдықтардың төмен құны өндірісті арзандатады. Мысалы, NatureWorks компаниясы bagasse және straw-дан PLA өндіруді зерттейді.

Кемшіліктері және қиындықтары

Технологиялық күрделілік:

Лигноцеллюлозаны қанттарға айналдыру үшін алдын ала өңдеу (pretreatment), гидролиз және ферментация сияқты қосымша қадамдар қажет, бұл энергия шығынын арттырады және құнын жоғарылатады.

Масштабтау мәселесі: Әлі коммерциялық деңгейде кең таралмаған, бірақ зерттеулер жалғасуда (мысалы, микробтардың жаңа штаммдары үшін).

Қоршаған орта әсері: Егер энергетикалық дақылдар үлкен ауқымда өсірілсе, биоалуантүрлілікке және су ресурстарына әсер етуі мүмкін, бірақ жалпы бірінші ұрпаққа қарағанда төме

Бірінші ұрпақпен салыстыру

Аспект	Бірінші ұрпақ шикізаттары	Екінші ұрпақ шикізаттары
Шикізат көзі	Азық-түлік дақылдары (жүгері, қант қызылшасы)	Қалдықтар және энергетикалық дақылдар (солома, switchgrass)
Артықшылықтар	Оңай өңдеу, жоғары өнімділік	Азық-түлікпен бәсекелеспейді, тұрақты
Кемшіліктер	Азық-түлік бағасының өсуі, жер тұтынуы	Күрделі технология, жоғары шығын
Қолдану	Көптеген қазіргі биополимерлер (PLA)	Келешектегі тұрақты өндіріс (лігноцеллюлозалық PLA, PHA)

Қолдану және болашақ перспективалары

- Биополимерлерде екінші ұрпақ шикізаттары PLA, PHA және басқа полисахаридтер (целлюлоза негізіндегі) өндірісінде қолданылады. Мысалы, целлюлоза полимерлердің (мысалы, целлюлоза ацетаты) негізі болады. Болашақта үшінші ұрпаққа (балдырлар, CO₂ тікелей түрлендіру) көшу күтілуде, бірақ екінші ұрпақ қазірдің өзінде нарықта өсуде: 2024 жылы биополимерлер нарығы 34 млрд долларға жетуі мүмкін, оның ішінде тұрақты шикізаттардың үлесі артуда.



Үшінші ұрпақ шикізаттары туралы

- Үшінші ұрпақ шикізаттары (third-generation feedstocks) биотопливо және биополимерлер өндірісінде қолданылатын ең заманауи ресурстардың бірі болып табылады. Олар бірінші ұрпақ (азық-түлік дақылдары, мысалы, жүгері немесе қант қызылшасы) және екінші ұрпақ (лигноцеллюлозалық қалдықтар, мысалы, сабан немесе ағаш үгінділері) шикізаттарынан ерекшеленеді, өйткені негізінен **балдырлар (algae)** және теңіз өсімдіктерінен (seaweed) тұрады. Бұл шикізаттар су ортасында өседі, жер ресурстарын талап етпейді және азық-түлікпен ешқандай бәсекелеспейді. Үшінші ұрпақ шикізаттарының пайда болуы биоотындар саласындағы "азық-түлік vs отын" деген мәселені шешуге бағытталған, өйткені олардың өнімділігі жоғары және экологиялық әсері төмен.

Негізгі сипаттамалары және мысалдары

- Үшінші ұрпақ шикізаттарының негізгі ерекшелігі – фотосинтез тиімділігінің жоғарылығы (3-8% күн энергиясын түрлендіреді, ал жер дақылдары үшін бұл 0.5% ғана) және жылдам өсуі. Олардың биомассасы липидтерді (майлар), көмірсуларды және ақуыздарды қамтиды, бұл биоэтанол, биодизель немесе биополимерлер (мысалы, РНА немесе целлюлоза негізіндегі материалдар) өндірісіне жарамды.

- **Микробалдырлар (microalgae):** Chlorella, Spirulina, Nannochloropsis сияқты түрлер, олар биореакторларда немесе ашық теңізде өсіріледі. Биомасса өнімділігі жылына 10-50 тонна/га дейін жетуі мүмкін.
- **Макробалдырлар (macroalgae немесе seaweed):** Қоңыр балдырлар (brown algae), мысалы, Laminaria немесе Sargassum, теңізде өседі және 12 аптада топырақта немесе 5 сағатта суда биодырайтын биопластиктерге айналады.
- **Басқа көздер:** CO₂-ді тікелей пайдаланатын генетикалық модификацияланған балдырлар немесе бактериялармен бірге өндірілетін биомасса.
- Бұл шикізаттарды өңдеу процесі: өсіру (фотобиореакторларда немесе теңізде), жинау (дегидратация), май немесе көмірсуларды бөлу және ферментация немесе химиялық түрлендіру арқылы отын немесе полимерлер алу.

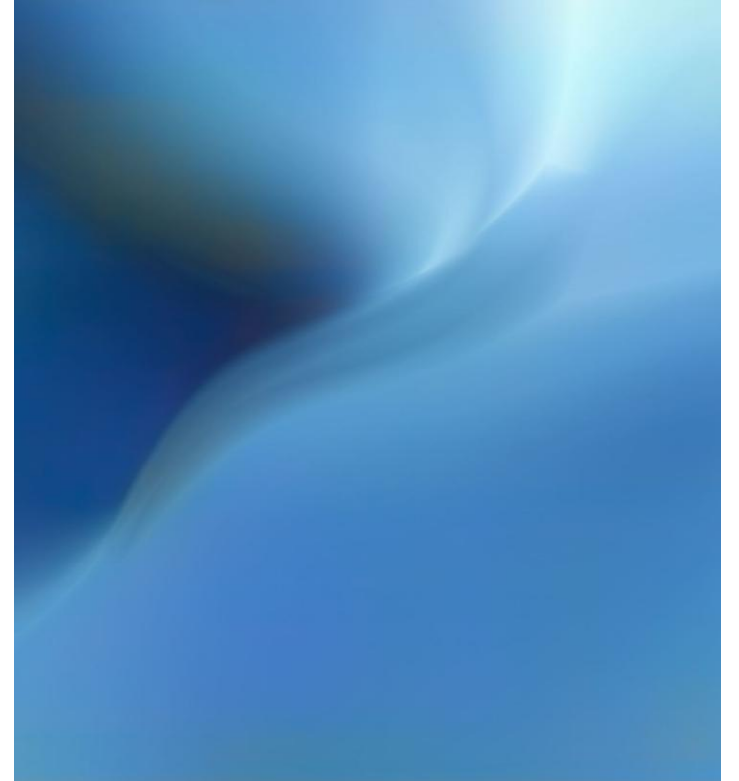
Артықшылықтары

Экологиялық тұрақтылық: Жер, тыңайтқыш немесе пестицид қажет етпейді, CO₂-ді сіңіреді және ластанған суды тазартады. Биоотын өндірісі мұнайдан 50-80% аз шығарынды береді.

Жоғары өнімділік: Балдырлар бірінші ұрпаққа қарағанда 10-100 есе көп биомасса береді, жер ресурстарын үнемдейді.

Экономикалық әлеует: Қалдық биомасса (майдан кейінгі) мал азығы немесе басқа өнімдерге айналады, бұл өндірісті рентабельді етеді. 2030 жылдан кейін нарықта "алға озу" күтіледі, әсіресе тұрақты авиаотында (SAF) үшін.

Биополимерлер үшін: Балдырлардан РНА немесе басқа биоыдырайтын полимерлер алынады, олардың құрамында липидтер жоғары (20-50%).

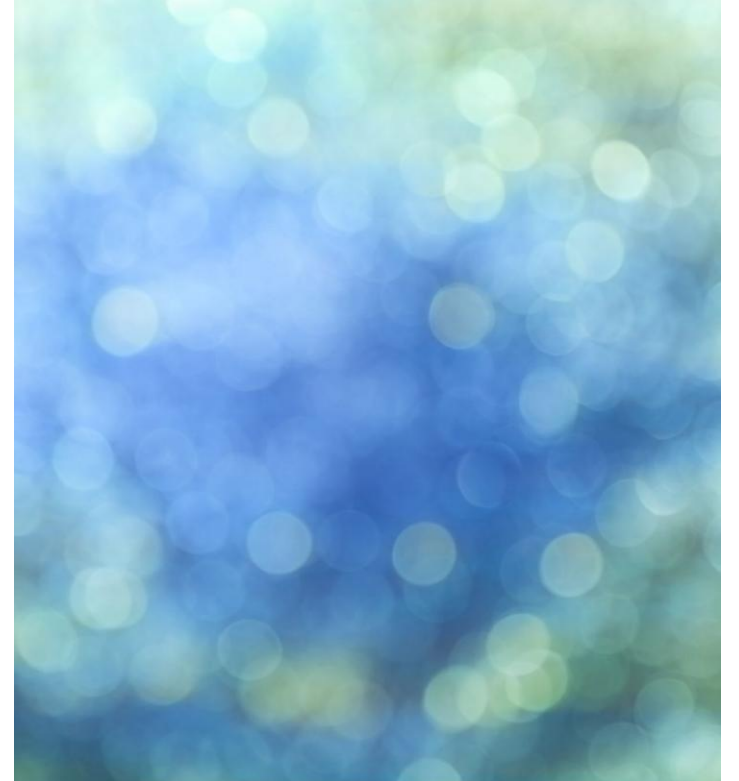


Кемшіліктері және қиындықтары

Технологиялық күрделілік: Өсіру ортасын бақылау (температура, жарық) қиын және қымбат (биореакторлар 1-5 доллар/кг биомасса құрайды). Жинау процесі энергияны көп қажет етеді.

Масштабтау мәселесі: Әлі коммерциялық деңгейде шектеулі, өйткені сертификаттау (мысалы, SAF үшін) жеткіліксіз. 2025 жылғы мәліметтер бойынша, өндіріс бірінші ұрпаққа қарағанда аз (500 млн галлонға қарсы 15 млрд).

Қоршаған орта әсері: Егер теңізде үлкен ауқымда өсірілсе, биоалуантүрлілікке әсер етуі мүмкін, бірақ жалпы экологиялық артықшылығы басым.



Екінші ұрпақпен салыстыру

Аспект	Екінші ұрпақ шикізаттары	Үшінші ұрпақ шикізаттары
Шикізат көзі	Лигноцеллюлозалық қалдықтар (саба, ағаш)	Балдырлар және теңіз өсімдіктері
Артықшылықтар	Арзан, қолжетімді; жерде өседі	Жер қажет етпейді, жоғары өнімділік; CO ₂ сіңіру
Кемшіліктер	Өңдеу қиын (гидролиз), энергия шығыны жоғары	Қымбат өсіру, масштабтау мәселесі
Қолдану	Биоэтанол, целлюлоза полимерлері	Биодизель, РНА; теңіз биоэкономика

Қолдану және болашақ перспективалары

- Үшінші ұрпақ шикізаттары биоотындармен қатар биополимерлерде (мысалы, балдыр негізіндегі био-пластиктер) қолданылады, олардың нарығы 2030 жылға қарай 50 млрд долларға жетуі мүмкін. Болашақта төртінші ұрпаққа (CO₂-ті генетикалық түрлендіру) көшу күтілуде, бірақ үшінші ұрпақ қазірдің өзінде климат өзгерістеріне қарсы күресте маңызды рөл атқарады. Зерттеулер (мысалы, Torsoe компаниясы) көрсеткендей, 2030-2035 жылдары өндіріс "жарық жылдамдықта" өседі.