Contribution of Ancient India to Green Chemistry
(हरित रसायन में प्राचीन भारत का योगदान)

---

1. भूमिका (Introduction)

प्राचीन भारत में रसायन विज्ञान केवल पदार्थों के निर्माण तक सीमित नहीं था, बल्कि **प्रकृति, पर्यावरण और मानव स्वास्थ्य के संतुलन** पर आधारित था।

आज जिसे हम **Green Chemistry (हरित रसायन)** कहते हैं, उसकी अवधारणा का व्यावहारिक प्रयोग **वैदिक काल से ही भारत में होता रहा है**।

---

2. हरित रसायन की आवश्यकता एवं प्रासंगिकता
(Need and Relevance of Green Chemistry)

आवश्यकता:

1. पर्यावरण प्रदूषण को कम करने हेतु
2. विषैले रसायनों के उपयोग में कमी
3. ऊर्जा संरक्षण
4. प्राकृतिक संसाधनों का संरक्षण
5. मानव स्वास्थ्य की सुरक्षा

प्रासंगिकता:

- औद्योगीकरण से बढ़ता प्रदूषण
- जलवायु परिवर्तन
- टिकाऊ विकास (Sustainable Development)

👉 इसलिए हरित रसायन **आज की नहीं, भविष्य की भी आवश्यकता** है।

---

3. हरित रसायन : परिभाषा
(What is Green Chemistry)

हरित रसायन वह शाखा है, जो ऐसे रासायनिक उत्पादों और प्रक्रियाओं के **डिज़ाइन, विकास और उपयोग** पर केंद्रित है, जिनसे **हानिकारक पदार्थों का निर्माण और उपयोग न्यूनतम** हो।

---

4. हरित रसायन के सिद्धांत
(Principles of Green Chemistry)

हरित रसायन के **12 सिद्धांत** हैं, जिनमें प्रमुख हैं:

1. अपशिष्ट की रोकथाम
2. परमाणु अर्थव्यवस्था
3. कम विषाक्त पदार्थों का उपयोग
4. सुरक्षित रसायनों का डिज़ाइन
5. सुरक्षित सॉल्वेंट्स
6. ऊर्जा दक्षता

7. नवीकरणीय कच्चे पदार्थ
8. उत्प्रेरकों (Catalysts) का उपयोग
9. अपघटनीय उत्पाद
10. दुर्घटना की संभावना में कमी

---

5. हरित रसायन के घटक
(Components of Green Chemistry)

1. प्राकृतिक कच्चा माल
2. जैव-अपघटनीय पदार्थ
3. ऊर्जा-दक्ष तकनीक
4. उत्प्रेरक आधारित प्रक्रियाएँ
5. अपशिष्ट प्रबंधन

---

6. प्राचीन भारत में हरित रसायन का ऐतिहासिक विकास
(Historical Development of Green Chemistry in India)
प्राचीन भारतीय ग्रंथों जैसे:

- **ऋग्वेद**
- **अथर्ववेद**
- **चरक संहिता**
- **सुश्रुत संहिता**
- **रसशास्त्र ग्रंथ**

में प्राकृतिक एवं पर्यावरण-अनुकूल रसायन प्रक्रियाओं का उल्लेख मिलता है।
👉 उस समय:

- विषैले रसायनों का न्यूनतम प्रयोग
- प्राकृतिक ईंधन (लकड़ी, गोबर)
- पुनः प्रयोग (Recycling)

---

7. वैदिक धातुकर्म में हरित विधियाँ
(Green Methods in Vedic Metallurgy)
(क) लौह (Iron)

- **वूट्ज़ स्टील** का निर्माण
- लकड़ी के कोयले का प्रयोग
- कम ताप पर प्रक्रिया
- न्यूनतम अपशिष्ट

👉 पर्यावरण-अनुकूल धातुकर्म का उदाहरण

(ख) तांबा (Copper)

- प्राकृतिक अयस्कों का उपयोग
- पौधों से प्राप्त फ्लक्स
- जल आधारित शोधन

(ग) जस्ता (Zinc)

- **Zawar Mines (राजस्थान)**
- डिस्टिलेशन तकनीक
- कम ऊर्जा खपत
- धुएँ का नियंत्रित निष्कासन

👉 विश्व की पहली हरित जस्ता निष्कर्षण तकनीक

(घ) पारा (Mercury)

- रसशास्त्र में नियंत्रित उपयोग
- शुद्धिकरण (शोधन) प्रक्रियाएँ
- हानिकारक प्रभाव कम करने की विधियाँ

---

8. दैनिक जीवन में हरित रसायन का योगदान

(Contribution of Green Chemistry in Daily Life)

1. जैविक साबुन
2. प्राकृतिक रंग
3. हर्बल दवाएँ
4. बायोडिग्रेडेबल प्लास्टिक
5. सौर ऊर्जा आधारित उत्पाद

---

9. हरित रसायन के लक्ष्य

(Goals of Green Chemistry)

1. शून्य अपशिष्ट
2. सुरक्षित रसायन
3. ऊर्जा संरक्षण
4. पर्यावरण संरक्षण
5. सतत विकास

---

10. प्राचीन भारत का योगदान - आधुनिक संदर्भ में

प्राचीन भारत	**आधुनिक हरित रसायन**
प्राकृतिक कच्चा माल	Renewable resources

प्राचीन भारत	आधुनिक हरित रसायन
कम ऊर्जा प्रक्रिया	Energy efficient processes
पुनः उपयोग	Recycling
सुरक्षित धातुकर्म	Sustainable metallurgy

Green Solvents
(हरित विलायक)

---

1. हरित विलायक क्या है?
(What is Green Solvent)

हरित विलायक (Green Solvent) वे विलायक होते हैं जो:

- कम विषैले हों
- पर्यावरण के लिए सुरक्षित हों
- जैव-अपघटनीय हों
- मानव स्वास्थ्य पर न्यूनतम प्रभाव डालें

👉 उद्देश्य: **परंपरागत विषैले विलायकों (benzene, chloroform आदि) का विकल्प देना**।

---

2. हरित विलायकों के प्रकार
(Types of Green Solvents)

1. **जल (Water)**
2. **जैव-आधारित विलायक (Bio-based solvents)** – ethanol, ethyl lactate
3. **आयनिक द्रव (Ionic Liquids)**
4. **सुपरक्रिटिकल द्रव** – विशेष रूप से CO_2
5. **डीप यूयूटेक्टिक सॉल्वेंट्स (DES)**

---

3. आयनिक द्रव (Ionic Liquids)

परिभाषा:

आयनिक द्रव वे लवण होते हैं जो **कम ताप (≤100°C)** पर द्रव अवस्था में रहते हैं।

3.1 आयनिक द्रवों की सरल तैयारी
(Simple Preparation)
सामान्यतः:

- एक **ऑर्गेनिक कैटायन**
- एक **अकार्बनिक/कार्बनिक एनायन**

उदाहरण:
Alkyl imidazolium + halide / tetrafluoroborate

👉 विधि:

Quaternization reaction एवं **anion exchange**

3.2 आयनिक द्रवों के प्रकार

(Types of Ionic Liquids)

1. **Imidazolium आधारित**
2. **Pyridinium आधारित**
3. **Ammonium आधारित**
4. **Phosphonium आधारित**

3.3 आयनिक द्रवों के गुण

(Properties)

1. अत्यंत कम वाष्प दाब
2. गैर-ज्वलनशील
3. उच्च तापीय स्थिरता
4. उत्कृष्ट विलयन क्षमता
5. पुनः उपयोग योग्य

3.4 आयनिक द्रवों के अनुप्रयोग

(Applications)

1. हरित विलायक के रूप में
2. इलेक्ट्रोकेमिकल उपकरण
3. कैटालिसिस
4. गैस पृथक्करण
5. फार्मास्यूटिकल उद्योग

3.5 कार्बनिक अभिक्रियाओं में आयनिक द्रव

(Ionic Liquids in Organic Reactions)

- **Friedel–Crafts reactions**
- **Diels–Alder reactions**
- **Aldol condensation**
- **Heck एवं Suzuki coupling**

👉 लाभ:

- उच्च उपज
- कम अपशिष्ट
- आसान पृथक्करण

---

4. सुपरक्रिटिकल कार्बन डाइऑक्साइड

(Supercritical Carbon Dioxide – $scCO_2$)

4.1 तैयारी

(Preparation)

जब CO_2 को:

- ताप > **31.1°C**
- दाब > **73.8 bar**

पर रखा जाता है → **सुपरक्रिटिकल अवस्था**

4.2 गुण

(Properties)

1. गैस जैसा विसरण
2. द्रव जैसी विलायक क्षमता
3. गैर-विषैला
4. गैर-ज्वलनशील
5. सस्ता और आसानी से उपलब्ध

4.3 अनुप्रयोग

(Applications)

1. **कैफीन निष्कर्षण (Coffee decaffeination)**
2. दवा उद्योग
3. पॉलिमर प्रोसेसिंग
4. हरित विलायक
5. क्रोमैटोग्राफी

4.4 पर्यावरणीय प्रभाव

(Environmental Impact)

सकारात्मक:

- VOCs में कमी
- प्रदूषण रहित
- पुनः उपयोग योग्य

सीमाएँ:

- उच्च दाब उपकरण
- प्रारंभिक लागत अधिक

👉 कुल मिलाकर **पर्यावरण के लिए अत्यंत अनुकूल**।

---

5. आयनिक द्रव बनाम सुपरक्रिटिकल CO_2

विशेषता	आयनिक द्रव	सुपरक्रिटिकल CO_2
वाष्प दाब	नगण्य	शून्य
विषाक्तता	कम	नहीं
पुनः उपयोग	हाँ	हाँ
लागत	अधिक	मध्यम
पर्यावरण प्रभाव	कम	न्यूनतम

1. जल : एक हरित विलायक
(Water as a Green Solvent)

जल सबसे अधिक प्रयोग किया जाने वाला **प्राकृतिक, सस्ता, सुरक्षित और पर्यावरण-अनुकूल विलायक** है। इसी कारण जल को **सबसे आदर्श हरित विलायक** माना जाता है।

जल को हरित विलायक क्यों माना जाता है?

1. गैर-विषैला
2. गैर-ज्वलनशील
3. सस्ता और सर्वत्र उपलब्ध
4. पर्यावरण के लिए सुरक्षित
5. जैव-अनुकूल (biocompatible)

---

2. जल के लाभ एवं सीमाएँ
(Advantages and Limitations)

लाभ:

- अपशिष्ट में कमी
- प्रतिक्रिया की गति में वृद्धि
- आसान पृथक्करण
- ऊर्जा संरक्षण

सीमाएँ:

- सभी कार्बनिक यौगिकों की घुलनशीलता नहीं
- जल-संवेदनशील अभिक्रियाएँ संभव नहीं

---

3. सुपरक्रिटिकल जल
(Supercritical Water)

परिभाषा:

जब जल को:

- तापमान > **374°C**
- दाब > **218 atm**

पर रखा जाता है, तब वह **सुपरक्रिटिकल जल (Supercritical Water)** कहलाता है।

गुण:

1. ध्रुवीयता में कमी
2. कार्बनिक यौगिकों की घुलनशीलता बढ़ती है
3. उच्च अभिक्रियाशीलता
4. तेज अभिक्रिया दर

अनुप्रयोग:

1. कार्बनिक संश्लेषण
2. अपशिष्ट उपचार
3. ऑक्सीकरण अभिक्रियाएँ
4. ग्रीन प्रोसेसिंग

---

4. जल में Diels–Alder अभिक्रिया
(Diels–Alder Reaction in Water)

परिचय:

Diels–Alder अभिक्रिया एक [4+2] साइक्लोऐडिशन अभिक्रिया है।

जल में होने के लाभ:

1. अभिक्रिया की गति में वृद्धि
2. उच्च उपज
3. कम तापमान की आवश्यकता
4. हाइड्रोफोबिक प्रभाव (Hydrophobic Effect)

👉 जल में Diels–Alder अभिक्रिया **ऑर्गेनिक सॉल्वेंट्स की तुलना में अधिक प्रभावी** होती है।

---

5. जल में उत्प्रेरण (Catalysis in Water)

5.1 जल में ऐरोबिक ऑक्सीकरण
(Aerobic Oxidation of Alcohols)

अल्कोहॉल → एल्डिहाइड / कीटोन

उत्प्रेरक:

- **Pd(II) / Bathophenanthroline**
- ऑक्सीजन (हवा) ऑक्सीडेंट के रूप में

विशेषताएँ:

1. पर्यावरण-अनुकूल ऑक्सीकारक

2. विषैले रसायनों की आवश्यकता नहीं
3. उच्च चयनात्मकता
4. पुनः उपयोग योग्य उत्प्रेरक

👉 यह प्रक्रिया **हरित ऑक्सीकरण** का उत्कृष्ट उदाहरण है।

---

6. माइक्रोवेव-सहायित अभिक्रियाएँ जल में
(Microwave Assisted Reactions in Water)

परिचय:

माइक्रोवेव विकिरण के उपयोग से जल में अभिक्रियाएँ:

- अधिक तेज
- ऊर्जा-दक्ष
- कम समय में पूर्ण

लाभ:

1. अभिक्रिया समय में भारी कमी
2. बेहतर उपज
3. कम ऊर्जा खपत
4. न्यूनतम अपशिष्ट

उदाहरण:

- Knoevenagel condensation
- Multicomponent reactions
- Cyclization reactions

---

7. पारंपरिक विलायक बनाम जल

विशेषता	**पारंपरिक विलायक**	**जल**
विषाक्तता	अधिक	नहीं
ज्वलनशीलता	हाँ	नहीं
लागत	अधिक	बहुत कम
पर्यावरण प्रभाव	हानिकारक	सुरक्षित

Green Synthesis of Organic Compounds
(हरित संश्लेषण: कार्बनिक यौगिक)

---

1. Green Synthesis क्या है?
(Definition)

हरित संश्लेषण (Green Synthesis) वह प्रक्रिया है, जिसमें **पर्यावरण-अनुकूल, सुरक्षित, और ऊर्जा-दक्ष तरीकों** से रसायन तैयार किए जाते हैं।

उद्देश्य:

- विषाक्त रसायनों की जगह सुरक्षित रसायन
- अपशिष्ट की न्यूनतम मात्रा
- ऊर्जा एवं संसाधनों की बचत

---

2. प्रमुख हरित संश्लेषण उदाहरण

(क) Adipic Acid

- पारंपरिक: HNO_3 ऑक्सीकरण (पर्यावरण हानिकारक)
- Green: H_2O_2 या बायोकैटालिस्टिक ऑक्सीकरण
- Solvent: Water / Ionic liquids

(ख) Catechol

- प्राकृतिक स्रोत: L-DOPA या Phenol oxidation
- हरित विधि: H_2O_2 + Fe catalyst (aqueous medium)

(ग) BHT (Butylated Hydroxytoluene)

- Antioxidant synthesis
- Green route: Solvent-free Friedel-Crafts alkylation
- Catalyst: Solid acids / Ionic liquids

(घ) Urethane

- Green route: Alcohol + Isocyanate in water or solvent-free
- Solvent-free and energy-efficient

(ङ) Citral

- Terpene oxidation
- Biocatalyst: Enzymatic oxidation
- Water or ionic liquid as medium

(च) Ibuprofen

- Traditional: multi-step, toxic solvents
- Green route: One-pot reaction in water or ethanol
- High yield, less waste

(छ) Paracetamol

- Traditional: Acetic anhydride + p-aminophenol (organic solvent)
- Green route: Solvent-free or aqueous acetylation
- Reduced energy consumption

---

3. मुख्य हरित अभिक्रियाएँ
(Green Reactions)

3.1 Acetylation of Primary Amines

- $R\text{-}NH_2$ + Acetic anhydride → $R\text{-}NHCOCH_3$
- Solvent: Water / Ionic liquid
- Catalyst: Mild acid/base
- लाभ: पर्यावरण सुरक्षित, high yield

3.2 Base-Catalyzed Aldol Condensation

- R-CHO + R'-CHO → β-hydroxy aldehyde → α,β-unsaturated aldehyde
- Solvent: Water / Ethanol
- Catalyst: NaOH / K_2CO_3
- Green benefit: Solvent-free या aqueous medium

3.3 Halogen Addition to C=C Bond

- R-CH=CH-R' + X_2 → R-CHX-CHX-R'
- Solvent: Water / Ionic liquids
- Example: Bromination of alkenes
- पर्यावरण सुरक्षित

3.4 [4+2] Cycloaddition Reaction (Diels–Alder)

- Diene + Dienophile → Cyclohexene derivative
- Example: Furan + Maleic acid → Endo-adduct
- Medium: Water
- Advantages: High yield, mild conditions, eco-friendly

---

4. Water / Ionic Liquids in Green Synthesis

- सभी reactions में solvent-free या aqueous medium की सुविधा
- Energy-efficient
- Waste and toxic reagent को कम करता है
- Easy work-up & isolation

Green Organic Reactions

(हरित कार्बनिक अभिक्रियाएँ)

---

1. Rearrangement Reaction
(Benzyl–Benzilic Acid Rearrangement)

परिभाषा:

Benzyl–Benzilic Acid rearrangement में α-diketone (benzil) को आधार (base) की उपस्थिति में **α-hydroxy acid** में बदला जाता है।

Reaction:
Benzil + KOH → Benzilic acid

Mechanism (संक्षेप में):

1. Base से enolate formation
2. Phenyl migration
3. α-hydroxy carboxylic acid का निर्माण

Green Aspect:

- Solvent: Water / Ethanol
- Mild conditions, कम अपशिष्ट

उपयोग:

- Pharmaceuticals (e.g., antiarrhythmic drugs)
- Organic synthesis intermediates

---

2. Coenzyme Catalyzed Benzoin Condensation
(Thiamine Hydrochloride catalyzed synthesis of Benzoin)

परिभाषा:

Benzoin condensation में **two aromatic aldehydes (benzaldehyde)** का condensation होकर **α-hydroxyketone (benzoin)** बनता है।

Catalyst: Thiamine hydrochloride (Vitamin B1)

Reaction:

2 Benzaldehyde + Thiamine·HCl → Benzoin

Mechanism (संक्षेप में):

1. Thiamine forms ylid (nucleophile)
2. Nucleophilic attack on aldehyde
3. Formation of α-hydroxyketone

Green Aspect:

- Water / Ethanol as solvent
- Biocatalyst (Vitamin B1) → Non-toxic, biodegradable
- Mild temperature, high yield

उपयोग:

- Pharmaceutical intermediates
- Fine chemicals

---

3. Pechmann Condensation for Coumarin Synthesis
(Clay Catalyzed Solid State Synthesis of 7-Hydroxy-4-Methylcoumarin)

परिभाषा:

Pechmann condensation में **phenol + β-ketoester** का condensation होकर **coumarin derivative** बनता है।

Reaction (Example):

Resorcinol + Ethyl acetoacetate → 7-Hydroxy-4-methylcoumarin

Catalyst: Acidic clay (Solid-state, e.g., Montmorillonite K-10)

Mechanism (संक्षेप में):

1. Acidic catalyst से ester activation
2. Electrophilic substitution on phenol
3. Cyclization → Coumarin derivative

Green Aspect:

- Solid-state synthesis → Solvent-free
- Recyclable catalyst (clay)
- Mild conditions, high yield

उपयोग:

- Pharmaceuticals
- Dyes, Optical brighteners
- Fluorescent probes

---

4. Green Chemistry Highlights in These Reactions

Reaction	Green Feature
Benzyl–Benzilic Acid Rearrangement	Water / ethanol solvent, mild base, less waste
Benzoin Condensation	Biocatalyst (Thiamine), aqueous medium, non-toxic
Pechmann Condensation	Solid-state, solvent-free, recyclable clay catalyst

Green Organic Reactions

(हरित कार्बनिक अभिक्रियाएँ)

---

1. Electrophilic Aromatic Substitution (EAS)

(इलेक्ट्रोफिलिक एरोमैटिक सब्स्टीट्यूशन अभिक्रियाएँ)

परिभाषा:

EAS वह अभिक्रिया है जिसमें **एरोमैटिक रिंग पर इलेक्ट्रोफिलिक समूह** जुड़ता है, जबकि हाइड्रोजन निकल जाता है।

1.1 Nitration of p-Phenol

अभिक्रिया:

p-Phenol + HNO_3 → p-Nitrophenol

Green Aspect:

- Water-acid mixture या dilute HNO_3 का उपयोग
- Mild temperature, कम अपशिष्ट
- Catalyst: Solid acid (zeolite, clay)

1.2 Bromination of Acetanilide

अभिक्रिया:

Acetanilide + Br_2 → p-Bromoacetanilide

Green Aspect:

- Solvent-free या aqueous medium
- Solid support (clay / zeolite) पर किया जाता है
- कम समय, उच्च चयनात्मकता

---

2. Green Oxidation Reactions

(हरित ऑक्सीकरण अभिक्रियाएँ)

2.1 Synthesis of Adipic Acid

Traditional: Nitric acid oxidation → Environmental hazard

Green Method:

- H_2O_2 oxidation of cyclohexanone
- Solvent: Water / Ionic liquid
- Non-toxic, less waste

2.2 Preparation of Manganese(III) Acetylacetonate

Green Aspect:

- Solid-state synthesis
- Solvent-free
- Mild temperature

---

3. Zeolite Catalyzed Friedel–Crafts Acylation

Reaction:

Aromatic compound + Acyl chloride → Aromatic ketone

Catalyst: Zeolite (solid acid)

Green Benefits:

- Solvent-free
- Recyclable catalyst
- High selectivity
- Low environmental impact

---

4. Ultrasound Assisted Reactions

(अल्ट्रासोनिक अभिक्रियाएँ)

Definition:

Ultrasound (20 kHz–1 MHz) के माध्यम से अभिक्रियाएँ तेज़ और ऊर्जा-दक्ष होती हैं।

Applications:

1. **Esterification:** RCOOH + R'OH → RCOOR'
2. **Saponification:** RCOOR' + NaOH → RCOONa + R'OH
3. **Substitution Reactions:** Halogenation, nitration
4. **Alkylation:** Friedel-Crafts alkylation
5. **Oxidation:** Alcohol → Aldehyde/Ketone
6. **Reduction:** Nitro → Amino

Green Aspect:

- Solvent-free या aqueous medium
- Reduced reaction time
- Energy efficient

---

5. Cannizzaro Reaction

(कैनिज़ारो अभिक्रिया)

परिभाषा:

अल्डिहाइड (जिसमें α–H नहीं) का **aqueous base में disproportionation** होकर **एक alcohol और एक carboxylic acid** में बदल जाना।

Reaction Example:

2 Benzaldehyde + NaOH → Benzyl alcohol + Benzoic acid

Mechanism (संक्षेप में):

1. Hydroxide ion attack on carbonyl
2. Hydride transfer
3. Formation of alcohol + carboxylate

Green Aspect:

- Water as solvent
- No toxic reagents
- Mild conditions

---

6. Green Chemistry Highlights in These Reactions

Reaction Type	Green Feature
EAS (Phenol, Acetanilide)	Solvent-free, aqueous, solid acid catalyst
Oxidation (Adipic acid, $Mn(acac)_3$)	H_2O_2 / solid state, non-toxic
Friedel–Crafts Acylation	Zeolite catalyst, recyclable, solvent-free
Ultrasound Reactions	Energy-efficient, fast, water/solvent-free
Cannizzaro Reaction	Water as solvent, base-catalyzed, non-toxic

Real World Case Studies: Presidential Green Chemistry Awards

(वास्तविक दुनिया के उदाहरण - हरित रसायन पुरस्कार, EPA)

---

1. Surfactants for Carbon Dioxide

(कार्बन डाइऑक्साइड आधारित सर्फेक्टेंट्स)

परंपरागत समस्या:

- Precision cleaning और dry cleaning में **VOC (Volatile Organic Compounds)** जैसे smog-producing और ozone-depleting solvents का उपयोग।
- पर्यावरण और मानव स्वास्थ्य के लिए हानिकारक।

Green Solution:

- Carbon dioxide (CO_2) का उपयोग **solvent के रूप में**।
- Surfactants के माध्यम से CO_2 में गंदगी और तेल को आसानी से हटाया जा सकता है।

लाभ:

- Ozone layer सुरक्षित
- Air pollution कम
- Energy-efficient process
- Dry-cleaning उद्योग के लिए सुरक्षित और sustainable

---

2. Environmentally Advanced Wood Preservatives

(पर्यावरण-अनुकूल लकड़ी संरक्षक)

परंपरागत समस्या:

- Pressure-treated wood में **Chromium (Cr) और Arsenic (As)** का उपयोग।
- यह मिट्टी और पानी को प्रदूषित करता है।

Green Solution:

- नई पीढ़ी के wood preservatives जिसमें Cr और As न हो।
- Alternative metals और biocides का उपयोग।

लाभ:

- Toxic metals का निष्कासन
- पर्यावरण और मानव स्वास्थ्य सुरक्षित
- टिकाऊ लकड़ी संरक्षक (Durable & Eco-friendly)

---

3. Green Synthesis of Compostable Plastic (Polylactic Acid)

(कॉम्पोस्टेबल प्लास्टिक - PLA)

परंपरागत समस्या:

- Conventional plastics non-biodegradable, petroleum-based।
- पर्यावरण में लाखों साल तक टिकते हैं।

Green Solution:

- **Polylactic Acid (PLA)** का निर्माण **corn (maize) से**।
- Enzymatic / fermentation route, energy-efficient, biodegradable।

लाभ:

- पूरी तरह से compostable
- Renewable resources
- Packaging और disposable products में इस्तेमाल

---

4. Healthier Fats and Oils by Green Chemistry
(Enzymatic Interesterification)

परंपरागत समस्या:

- Hydrogenation से trans-fats का निर्माण, जो हृदय रोग का कारण।

Green Solution:

- Enzyme-catalyzed **interesterification** process।
- Fats और oils के fatty acid chains को rearrange किया जाता है, **trans-fat-free** oils बनाने के लिए।

लाभ:

- Healthier cooking oils
- Non-toxic process
- Energy और solvent कम उपयोग

---

5. Naturally Occurring Protein for Plant Growth

(प्राकृतिक प्रोटीन द्वारा कृषि सुधार)

परंपरागत समस्या:

- Chemical fertilizers → Soil degradation, water pollution।

Green Solution:

- Naturally occurring proteins का उपयोग।
- Plant growth stimulate, crop quality improve, yield बढ़ाएं।
- Diseases suppress करने की क्षमता।

लाभ:

- Chemical fertilizer कम
- Soil fertility maintained
- Sustainable agriculture

---

6. Fully Recyclable Carpet: Cradle to Cradle Carpeting

(पूरी तरह से पुन:चक्रण योग्य कारपेट)

परंपरागत समस्या:

- Nylon carpets non-recyclable, landfill में जाते हैं।

Green Solution:

- **Cradle-to-Cradle** design: पूरी carpet recyclable।
- Material का reuse संभव, zero waste approach।

लाभ:

- Landfill waste कम
- Resource efficiency
- Long-term sustainability
- Circular economy support

---

7. निष्कर्ष (Conclusion)

- Presidential Green Chemistry Awards के ये उदाहरण दर्शाते हैं कि **हरित रसायन का प्रयोग सिर्फ प्रयोगशाला तक सीमित नहीं**, बल्कि **वास्तविक उद्योग और समाज में पर्यावरण सुधार** में उपयोगी है।
- मुख्य पहलू:
    1. Renewable resources का उपयोग
    2. Toxic substances को हटाना
    3. Energy efficiency और waste reduction
    4. Human health और ecosystem का संरक्षण