

University of Groningen

Microbial synthesis and degradation of polyhydroxyalkanoates (PHAs)

Zhou, Wen

DOI:
[10.33612/diss.574741105](https://doi.org/10.33612/diss.574741105)

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2023

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):
Zhou, W. (2023). *Microbial synthesis and degradation of polyhydroxyalkanoates (PHAs)*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.574741105>

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Chapter 7

Summary

Polyhydroxyalkanoates (PHAs) are promising biodegradable plastics that can provide an approach to solve plastic pollution in the future. The biggest challenge of PHAs usage is the high cost of production. To address this problem, cheap substrates and a simple operation process are the priority. Various waste feedstocks provide enough low-cost carbon sources to obtain sustainable PHAs production. Numerous microbes have the capability of PHAs accumulation and degradation. Experiments with mixed microbial cultures and extremophiles demonstrated successful PHAs production. Up to now, scientists have extensively studied the mechanism of PHAs production and degradation. The fundamental parameters have been studied to engineer a path for up-scaling production. Many applications have been performed using different types of PHAs. The properties of PHAs have been characterized to better understand the performances of PHAs to meet further design an industrial demand plastic.

In Chapter 1, the amount of plastics production in the recent years is presented. From 2010 to 2020, the global plastic production increased from 90 Mt to 367 Mt. China accounted for the main part of plastics products with a ratio of 32%. Non-degradable plastic polyethylene (PE) is the most common and widely used plastic. In global bioplastics production, polylactic acid (PLA) dominated the world market with 18.9%. Due to the high production costs, the market share of the completely degradable PHAs was only 1.8%. Compared with PLA, PHAs have more variable structures, including short-chain PHAs (like PHB, PHBV) and medium-chain PHAs such as PHBHHX. Based on their properties, different PHAs have applications, including food packaging, drug carriers, and tissue engineering. Numerous microbes have identified their capability for PHAs production since 1926. *Bacillus megaterium* was the first record of PHA production bacterium. Recombinant microbes, extremophiles, and mixed microbial cultures (MMCs) play an essential role in the defined PHAs production in recent years. The investigation of PHAs synthesis and degradation pathway will benefit understanding the key to production and degradation. Thus, providing a guideline with a suitable design for industrial demand PHAs.

The review in **Chapter 2**, covers the aspects of PHAs synthesis, extraction, intracellular and extracellular degradation. In recent years, many papers on PHAs research have been published suggesting contributions to the solution for the environmental issues associated with non-degradable single-use plastics. The less expensive PHAs production and a stable, high production yield are central studies for further up-scaling of the industry. Agricultural residues, fruits and vegetable wastes, and different wastewaters have been studied as potential feedstocks in PHAs production to reduce costs. Volatile fatty acids (VFAs) can be produced from waste streams and used as the carbon source for PHAs production. PHB and PHBV are the main PHAs made from waste streams. Various carbon sources have been used as the “food” of PHAs-producing microorganisms. Many microbes can produce different PHAs dependent on their metabolic pathways of carbon sources. Mixed microbial cultures (MMCs) can be an alternative technique for cost-effective PHAs producers. Expensive sterilization procedures for reactors and substrates are unnecessary when the right conditions are applied to maintain stable MMCs that produce PHAs.

Three enzymes are necessary for PHAs production encoded by the genes *phaA*, *phaB*, and *phaC*. In the first step, two acetyl-CoA are combined by ketothiolase (PhaA) into acetoacetyl- CoA (PhaB). Reduction with NADH by acetoacetyl-CoA reductase produces hydroxybutyryl-CoA and PHA synthase (PhaC) polymerizes into PHB. PHAs depolymerase (PhaZ) is responsible for intracellular PHAs degradation. Acetyl-CoA carboxylase (Acc) is a “transportation hub” in PHAs production. Control of these enzyme activities can be a practical approach to improving PHAs accumulation. The parameters that affect growth and fermentation processes have been discussed concerning sustainable PHA productivity and yield. Up to 90 wt% PHAs on the dry cell weight can be obtained under optimal conditions.

Multiple chemical, physical, and biological extractions have been employed to extract PHAs from cells. Although efficient chemical extraction is the most widely used method, the cost and environmental effects are evident. The

challenging target in downstream processing is to develop a cheap, environmentally friendly, and effective extraction method. Intracellular PHAs are degraded by PhaZ and PHA-oligomer hydrolase (PhaY) are only present in PHAs-producing microbes. Extracellular PHAs can be degraded by numerous prokaryotes and eukaryotes, including yeast, fungi, and bacteria. PHAs are completely metabolized into carbon dioxide/ methane and water under anaerobic and aerobic conditions. Environmental conditions, like temperature and oxygen, and the properties of PHAs, such as crystallinity, influence the rate of PHA degradation. PHAs are biodegradable and biocompatible, and these are excellent properties for applications in medicine, agriculture, and our daily lives, and contribute to a circular economy. This review provides a comprehensive overview of PHAs and the challenges in further industrialization.

In Chapter 3, a PHA-producing MMC was enriched by a feast-famine regime in an acetate-feeding bioreactor. 16S-rDNA analysis was employed to determine the microbial composition of MMC. *Thauera spp.* was the predominant genus both after and before enrichment and increased from 24% to 40% in the MMC. The microbial cells contained 50.4 wt% PHA when grown at an acetic acid concentration of 10 g/L, a carbon/nitrogen (C/N) ratio of 10:1, initial pH 7.0 and 30 °C in a 2 L batch reactor using the enriched PHA-producing MMC. The extracted PHA from MMC was identified as PHB. *Thauera aminoaromatica* MZ1T, a dominant species in a PHA-producing MMC, was used for PHA production. The related enzymes involved in PHA production were detected in *T. aminoaromatica* MZ1T, including PhaA, PhaB, PhaC, PhaR, phaP, and PhaZ. Moreover, PHA granules are observed in *T. aminoaromatica* MZ1T using transmission electron microscopy (TEM). The enriched PHA-producing MMC and *T. aminoaromatica* MZ1T will be two promising options for PHB production.

In Chapter 4, dynamic MMCs were investigated under different growth conditions to unravel the relationship between growth conditions and PHB accumulation in the microorganisms within MMCs. *Thauera spp.* was the dominant genus in the enriched PHB-producing MMC at the start. When the MMC

was grown at pH 7, three genera, *Alcaligenes* (24%), *Paracoccus* (30%), and *Pseudomonas* (21%), replaced *Thauera* at the highest PHB accumulation point. In comparison, a combination of *Thauera* (32%), *Alishewanella* (28%), and *Sporosarcina* (19%) occupied most of the MMC at pH 9. The class of Betaproteobacteriales accounted for the most important part throughout the PHB production process. 70 wt% PHB on dry cell mass was obtained at an initial pH of 9 and a C/N ratio of 40. Alkaline conditions benefit cell growth and PHB production more than neutral and acidic conditions. The dominant genera and relative abundance of the microorganisms differed at the highest point of PHB production under different growth conditions (C/N ratios of 1, 10, 40, 100, and ∞) at pH 7 or pH 9. The relative abundance of *Thauera* species within the MMC was linked with the highest PHB production under nitrogen-limiting conditions. The phylum Proteobacteria dominated the microbial community among all growth conditions, except for the C/N ratio of 1 at pH 9, where Firmicutes were predominant. Both pH and the C/N ratio determine the microbial diversity of the MMC based on Redundancy Analysis (RDA) and principal component analysis (PcoA). This study demonstrates the significance of environmental conditions on PHB production level, production time, and the dominant microorganisms in the MMCs. The results of this research provide novel insights into the necessary environmental conditions to produce PHA production using an MMC.

In Chapter 5, the thermophilic strain *Schlegelella thermodepolymerans* was used to study PHA production and extracellular PHA degradation. When *S. thermodepolymerans* was grown on 20 g/L xylose, a C/N of 100, an initial pH 7, and at 50 °C up to 80 wt% PHB on dry cell mass accumulated. The largest PHB granules were detected within 48 h. During the accumulation of PHB, *S. thermodepolymerans* consumed xylose and ammonium and produced acetic acid and glycerol, and the pH of the growth medium decreased. The size and number of PHB granules inside the cells increased till 48 h, the granules became smaller, and the yield of PHB decreased. An optimal time for harvesting the cells exists to obtain the highest yield of PHA.

Three main pathways are involved in PHA production from xylose, including de novo fatty acid synthesis, β -oxidation pathway, and *phb ABC* pathway. Although many enzymes play a role in PHB production, only glycerol kinase, alcohol dehydrogenase, acyl-CoA synthase, and class I poly(R)-hydroxyalkanoic acid synthase were detected at the highest point of PHB production. The properties of the PHB extracted from the cells indicated that the bioplastic was suitable for applications.

S. Thermodepolymerans degraded a complete PHB sheet (8 cm \times 2 cm) into several small fragments (1 cm \times 1 cm) in 2 weeks. Microscopical analysis showed that the cells attached to the PHB sheet. After 3 weeks, only two fragments (1 cm \times 0.5 cm) were left indicating that *S. thermodepolymerans* can degrade PHB completely. The rate of PHB degradation was significantly faster at 50 °C than at 30 °C.

It can be concluded from this study that the *thermophilic S. thermodepolymerans* is an interesting strain for the industrial production of PHB from xylose. Furthermore, the strain can also be used to degrade PHB once PHB is at the end of its lifetime.

In Chapter 6, hemicellulose-xylan was used as the sole carbon source to produce PHB by *Schlegelella thermodepolymerans*. This is the first report describing that a wild thermophilic bacteria can directly utilize xylan as the sole carbon source to produce PHB. The optimal primary growth conditions for PHB production were a xylan concentration of 20 g/ L and a C/N ratio of 40 ammonia sulfate. With wheat arabinoxylan, 30 wt% PHB on cell dry mass accumulated while using beechwood xylan only 16 wt% PHB accumulated in *S. thermodepolymerans*. Depending on the type of the xylans, xylose, arabinose, and acetate were generated during xylan degradation.

Several putative xylan-degrading enzymes were found in *S. thermodepolymerans* (based on its genome bank), including β -glucosidase, polysaccharide deacetylase, glycoside hydrolase, and tannase/feruloyl esterase.

The C5 sugar fraction in the refinery of hemicellulosic biomass was obtained from the seven feedstocks: herbaceous biomass (wheat straw and corn stover), hardwood (beech, poplar, and birch), and softwood (spruce and pine). The C5 sugar fraction was used as the carbon source for PHA production. Up to 38 wt% PHB on the dry cell mass was detected, and 30 wt% PHB was extracted from the cells. The study demonstrates the potential to use cheap, renewable hemicellulose biomass to produce PHA, which helps build a sustainable PHA economy.

Samenvatting

Polyhydroxyalkanoaten (PHA's) zijn veelbelovende biologisch afbreekbare kunststoffen die een oplossing kunnen bieden voor de plasticvervuiling in de toekomst. De grootste uitdaging voor de commercialisatie van PHA's zijn de hoge productiekosten. Om dit probleem aan te pakken zijn goedkope substraten en een eenvoudig verwerkingsproces van voorraanstaand belang. Diverse afvalgrondstoffen bieden voldoende goedkope koolstofbronnen om een duurzame PHA-productie op te zetten. Verscheidene microben kunnen PHA's accumuleren en afbreken. Experimenten met gemengde microbiële culturen en extremofielen hebben de succesvolle productie van PHA's aangetoond. Ook de mechanismen van PHA-productie en -afbraak zijn door wetenschappers uitgebreid bestudeerd. Fundamentele parameters zijn onderzocht om een weg te banen voor opschaling van de productie. Verschillende soorten PHA's kunnen verscheidende toepassingen hebben. De eigenschappen van het wijde scala aan PHA's zijn gekarakteriseerd om goede applicaties bij iedere individuele kunststof te vinden. Een verder ontwerp van de industriële productie van PHA's is noodzakelijk om aan de vraag naar een specifiek type bioplastiek te voldoen.

In hoofdstuk 1 wordt de kunststofproductie in de afgelopen tien jaar gepresenteerd. Tussen 2010 en 2020 is de wereldwijde kunststofproductie gestegen van 90 Mt tot 367 Mt. China nam 32% van deze kunststofproductie voor zijn rekening. De niet-afbreekbare kunststof polyethyleen (PE) is de meest voorkomende en meest gebruikte kunststof. Van de bioplastics werd polymelkzuur (PLA), met 18,9%, het meest geproduceerd. Vanwege de hoge productiekosten hadden de volledig biologisch afbreekbare PHA's slechts een aandeel van 1,8% in de markt voor bioplastics. Vergeleken met PLA hebben PHA's meer variabele structuren, waaronder PHA's met een korte keten (zoals PHB en PHBV) en PHA's met een middellange keten, zoals PHBHHX. De verschillende PHA's hebben verschillende toepassingen, waaronder verpakking van levensmiddelen, dragers van geneesmiddelen en weefselengineering. Sinds 1926 zijn er talrijke microben geïdentificeerd die PHA's kunnen produceren. *Bacillus megaterium* was de eerste

geïdentificeerde bacterie die PHA produceerde. Recombinante micro-organismen, extremofielen en gemengde microbiële culturen (MMC's) zullen nodig zijn om de huidige knelpunten in de kosteneffectieve productie van PHA's te overwinnen. De oplossingen voor deze knelpunten zullen bijdragen tot de oplossing van het "kip en ei" dilemma: de industrie zal geen bioplastics produceren omdat de beschikbaarheid van PHA niet voldoende is, en de fermentatie-industrie investeert niet in productie-installaties omdat de vraag naar PHA niet voldoende is.

De literatuurreview in **hoofdstuk 2** geeft een overzicht van de aspecten van PHA-synthese, -extractie en intracellulaire en extracellulaire degradatie. In de afgelopen jaren zijn er veel artikelen over PHA-onderzoek gepubliceerd waarin een bijdrage van PHA's wordt gesuggereerd aan de oplossing van de milieuproblemen in verband met niet-afbreekbare kunststoffen voor eenmalig gebruik. De goedkopere productie van PHA's en een stabiele, hoge productieopbrengst zijn centrale onderzoeksvragen voor verdere opschaling van de industrie. Landbouwresiduen, fruit- en groenteafval en verschillende soorten afvalwater zijn bestudeerd als potentiële grondstoffen voor de PHA-productie om de kosten te drukken. Vluchtige vetzuren (VFA's) kunnen worden geproduceerd uit afvalstromen en worden gebruikt als koolstofbron voor de PHA-productie. PHB en PHBV zijn de belangrijkste PHA's die uit afvalstromen worden gemaakt. Verschillende koolstofbronnen zijn gebruikt als "voedsel" voor PHA-producerende micro-organismen. Veel microben kunnen verschillende PHA's produceren, afhankelijk van hun metabolische routes van de koolstofbronnen. Gemengde microbiële culturen (MMC's) kunnen een alternatieve techniek zijn voor kosteneffectieve PHA-productie. Dure sterilisatieprocedures voor reactoren en substraten zijn onnodig wanneer de juiste omstandigheden worden toegepast om stabiele MMC's te handhaven die PHA's produceren.

Voor de productie van PHA's zijn drie enzymen nodig, gecodeerd door de genen *phaA*, *phaB* en *phaC*. In de eerste stap worden twee acetyl-CoA gecombineerd door ketothiolase (PhaA) tot acetoacetyl-CoA (PhaB). Reductie met NADH door acetoacetyl-CoA-reductase produceert hydroxybutyryl-CoA en PHA-synthase (PhaC) polymeriseert tot PHB. PHA depolymerase (PhaZ) is

verantwoordelijk voor de intracellulaire afbraak van PHA. Acetyl-CoA carboxylase (Acc) is een "transportknooppunt" in de PHA-productie. Beheersing van deze enzymactiviteiten kan een praktische aanpak zijn om de accumulatie van PHA's te verbeteren. De parameters die de groei- en fermentatieprocessen beïnvloeden zijn besproken met betrekking tot duurzame PHA-productiviteit en -opbrengst. Onder optimale omstandigheden kan tot 90 wt% PHA op het droge cel gewicht worden verkregen.

Er zijn verschillende chemische, fysische en biologische extracties beschreven om PHA uit cellen te extraheren. Hoewel chemische extractie met chloroform de meest gebruikte methode is, zijn de kosten en de milieueffecten evident. De grootste uitdaging bij de productie van PHA is de ontwikkeling van een goedkope, milieuvriendelijke en effectieve PHA-extractiemethode. Intracellulaire PHA's worden afgebroken door PhaZ en PHA-oligomeer hydrolase (PhaY), deze enzymen zijn alleen aanwezig in PHA-producerende microben. Extracellulaire PHA's kunnen worden afgebroken door talrijke prokaryoten en eukaryoten, waaronder gist, schimmels en bacteriën. PHA's worden onder anaerobe en aerobe omstandigheden volledig gemetaboliseerd tot kooldioxide/methaan en water. Milieumomstandigheden, zoals temperatuur en zuurstof, en de eigenschappen van PHA's, zoals de mate van kristalliniteit, beïnvloeden de snelheid van PHA-afbraak. PHA's zijn vanwege hun uitstekende biologische afbreekbaarheid en biocompatibiliteit toepasbaar in de geneeskunde, de landbouw, hebben toepassingen in ons dagelijks leven en dragen bij aan een circulaire economie. Dit hoofdstuk geeft een uitgebreid overzicht van PHA's en de uitdagingen bij verdere industrialisatie.

In hoofdstuk 3 werd een PHA-producerend MMC verrijkt door middel van een "feast-famine regime" in een met acetaat gevoede bioreactor. Met behulp van 16S-rDNA-analyse werd de microbiële samenstelling van de MMC bepaald. *Thauera spp.* was de meest aanwezige genus zowel voor als na verrijking en nam toe van 24% tot 40% in het MMC. De microbiële cellen bevatten 50,4 wt% PHA bij een azijnzuurconcentratie van 10 g/L, een koolstof/stikstof verhouding van 10:1, een initiële pH van 7,0 en 30 °C in een batchreactor van 2 liter met het verrijkte

PHA-producerende MMC. Het geëxtraheerde PHA uit het MMC werd geïdentificeerd als PHB. *Thauera aminoaromatica* MZ1T, een dominante soort in een PHA-producerend MMC, werd gebruikt voor de PHA-productie. In *T. aminoaromatica* MZ1T werden verwante enzymen ontdekt die betrokken zijn bij de productie van PHA, waaronder PhaA, PhaB, PhaC, PhaR, PhaP en PhaZ. Bovendien werden in *T. aminoaromatica* MZ1T PHA-korrels waargenomen met behulp van transmissie-elektronenmicroscopie (TEM). De verrijkte PHA-producerende MMC en *T. aminoaromatica* MZ1T zijn twee veelbelovende opties voor PHB-productie.

In hoofdstuk 4 werden dynamische MMC's onderzocht onder verschillende groeiomstandigheden om de relatie tussen groeiomstandigheden en PHB-accumulatie in de micro-organismen binnen de MMC's te ontrafelen. *Thauera spp.* was in het begin het dominante genus in het verrijkte PHB-producerende MMC. Toen de MMC bij pH 7 werd gekweekt, vervingen drie genera, *Alcaligenes* (24%), *Paracoccus* (30%), en *Pseudomonas* (21%), *Thauera* op het hoogste PHB-accumulatiepunt. Ter vergelijking, bij pH 9, nam een combinatie van *Thauera* (32%), *Alishewanella* (28%) en *Sporosarcina* (19%) het grootste deel van de MMC in beslag. De klasse van Betaproteobacteriales nam het belangrijkste deel van het PHB-productieproces voor haar rekening. 70 wt% PHB van de droge celmassa werd verkregen bij een initiële pH van 9 en een C/N-verhouding van 40. Alkalische omstandigheden komen de celgroei en PHB-productie meer ten goede dan neutrale en zure omstandigheden. De dominante geslachten en de relatieve abundantie van de micro-organismen verschilden op het hoogste punt van PHB-productie onder verschillende groeiomstandigheden (C/N-verhoudingen van 1, 10, 40, 100 en ∞) bij pH 7 of pH 9. De relatieve abundantie van *Thauera*-soorten binnen het MMC was gekoppeld aan de hoogste PHB-productie onder stikstofbeperkende omstandigheden. Het phylum Proteobacteriën domineerde de microbiële gemeenschap onder alle groeiomstandigheden, behalve bij een C/N-verhouding van 1 bij pH 9, waar Firmicutes voornamelijk aanwezig was. Zowel de pH als de C/N-verhouding bepalen de microbiële diversiteit van het MMC op basis van Redundancy Analysis (RDA) en Principale Componenten Analyse (PCA). Deze

studie toonde het belang aan van de groeiomstandigheden voor de PHB-productie, de productietijd en de dominante micro-organismen in de MMC's. De resultaten van dit onderzoek bieden nieuwe inzichten in de noodzakelijke omstandigheden voor de productie van PHA met behulp van een MMC.

In hoofdstuk 5 werd de thermofiele stam *Schlegelella thermodepolymerans* gebruikt om de intracellulaire productie en extracellulaire afbraak van PHA te bestuderen. *S. thermodepolymerans* accumuleerde tot 80 wt% PHB op de droge celmassa, indien gekweekt onder de omstandigheden van 20 g/L xylose, een C/N-verhouding van 100, een temperatuur van 50 °C en een initiële pH van 7. Tijdens de accumulatie van PHB verbruikte *S. thermodepolymerans* xylose en ammonium en produceerde azijnzuur en glycerol, waardoor de pH daalde. De grootte en het aantal PHB-korrels in de cellen nam toe tot 48 uur. Na 48 uur werden de korrels kleiner en nam de opbrengst van PHB af. Er bestaat een optimale tijd voor het oogsten van de cellen om de hoogste opbrengst aan PHA te verkrijgen.

Drie belangrijke routes zijn betrokken bij de productie van PHA uit xylose, waaronder de novo vetzuursynthese, de β -oxidatieroute en de *phb ABC*-route. Hoewel vele enzymen een rol spelen bij de PHB-productie, werden alleen glycerolkinase, alcoholdehydrogenase, acyl-CoA synthase en klasse I poly(R)-hydroxyalkaanzuur synthase gedetecteerd op het hoogste punt van de PHB-productie. De eigenschappen van het uit de cellen geëxtraheerde PHB gaven aan dat het bioplastic geschikt was voor toepassingen.

S. thermodepolymerans degradeerde een compleet PHB-blad (8 cm \times 2 cm) in 2 weken tot verschillende kleine fragmenten (1 cm \times 1 cm). Microscopische analyse toonde aan dat de cellen zich hechtten aan het PHB-blad. Na 3 weken waren slechts twee fragmenten (1 cm \times 0,5 cm) over, wat erop wijst dat *S. thermodepolymerans* PHB volledig kan afbreken. De afbraaksnelheid van PHB was aanzienlijk hoger bij 50 °C dan bij 30 °C.

Uit deze studie kan worden geconcludeerd dat de thermofiele *S. thermodepolymerans* een interessante stam is voor de industriële productie van PHB uit xylose. Bovendien kan de stam ook worden gebruikt om PHB af te breken zodra PHB aan het eind van zijn levenscyclus is.

In hoofdstuk 6 werd hemicellulose-xylan gebruikt als enige koolstofbron voor de productie van PHB door *Schlegelella thermodepolymerans*. Dit is het eerste verslag waarin wordt beschreven dat een thermofiele wild-type bacterie direct xylan kan gebruiken als enige koolstofbron voor de productie van PHB. De optimale primaire groeiomstandigheden voor PHB-productie waren 20 g/l xylan en een C/N-verhouding van 40 met ammoniumsulfaat als stikstofbron. Tarweaurabinoxylan is beter dan beukenhoutxylan voor PHB-productie door *S. Thermodepolymerans*, met respectievelijk 30 en 16% PHB-productie op de droge celmassa. Afhankelijk van het type xylan werden xylose, arabinose en acetaat gevormd tijdens de afbraak van xylan.

In het genoom van *S. thermodepolymerans* werden verschillende potentiële xylan-afbrekende enzymen gevonden, waaronder polysacharide deacetylase, glycoside hydrolase en tannase/feruloyl esterase.

De C5-suikerfractie in de raffinage van hemicellulose houdende biomassa werd verkregen uit zeven grondstoffen: kruidachtige biomassa (tarwestro en maïsstro), hardhout (beuk, populier en berk) en zachthout (spar en den). De C5-suikerfractie werd gebruikt als koolstofbron voor de PHA-productie. Er werd tot 38 wt% PHB op de droge celmassa gedetecteerd, en 30 wt% PHB werd uit de cellen geëxtraheerd. De studie toont het potentieel aan om goedkope, hernieuwbare hemicellulosebiomassa te gebruiken voor de productie van PHA, wat bijdraagt tot de opbouw van een duurzame PHA-economie.

