

Novel biodegradable plastics in animal nutrition

Doctoral Thesis

Author(s):

Forni, Diego

Publication date:

1997

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001875294>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH No. 12373

Novel Biodegradable Plastics in Animal Nutrition

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for degree of

Doctor of Technical Sciences

presented by

Diego Forni

Dipl. Ing.-Agr. ETH

born October 15, 1964

citizen of Bedretto TI

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. C. Wenk, examiner

Prof. Dr. M. Kreuzer, co-examiner

Zurich, 1997

Summary

The purpose of this work was to investigate the feasibility of recycling biodegradable plastic to animal feed. Biodegradable plastics are known as carbon and energy storage compounds. A target question was if animals were able to benefit from degradation of such materials in the gastrointestinal tract. As models for animal digestion, pigs and wethers were selected as representatives of monogastric and ruminant animals, respectively. Two series of experiments were conducted per each animal species. They were designed to study the effect of untreated plastic inclusion, increased substitution level and pre-treatment on digestibility, metabolism and growth.

In the first series of experiments, 8 % of either straw or the untreated biodegradable plastic poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) or polycaprolactone (PCL) were incorporated in a standard diet for growing pigs and in a hay-corn meal diet (50:50, dry matter) for adult wethers. In the second series of experiments, different levels of PHBV (10 and 20 %) substituted similar control diets (C) to the ones of the first series. In addition, PHBV was pre-treated with 40 g sodium hydroxide per kg feed (dry matter in sheep) to improve digestibility. Further, a rumen simulation technique (Rusitec) served to compare the degradation of biodegradable plastic and the effect of pre-treatment with the *in vivo* experiments.

The result of the first series revealed that untreated biodegradable plastics were not a good source of dietary energy for both swine and sheep. In growing pigs, the inclusion of biodegradable plastics led to lower growth performances and the nutrients were less digested. Diets containing plastic showed even lower ($P < 0.001$) digestibility of organic matter (OM) and gross energy (GE) than the diet containing straw. Inclusion of straw, PHBV and PCL reduced digestibility of GE by 7 %, 14 %, and 18 %, respectively. On average 16 % of PHBV and 31 % of PCL disappeared during transit through the gastrointestinal tract of pigs. Wethers showed similar results in a respiration experiment. On average 5 % of the PHBV and 33 % of the PCL were digested. Inclusion of plastic also caused a drastic decrease in digestibility of GE. The effect of biodegradable plastics on the digestibility of fibre fractions was of particular interest since they were chemically recovered as fibre and were supposed to act as such. However, digestibility of fibre fractions indicated contradictory results. In comparison to straw, PHBV caused a

reduction in NDF and ADF digestibility whereas PCL caused an increase. The partition of dietary energy supported the finding of a poor digestibility of biodegradable plastics with energy losses in the faeces being 5 % higher than in C. The energy loss in the urine and through methane witnessed no influence of the treatments. Consequently, metabolizable energy concentrations (MJ per kg DM) showed an inter-mediate result for straw and lower ($P < 0.05$) for PHBV and PCL in comparison to C.

In the second series of experiments, increased levels of PHBV confirmed the results of the first experiment in swine as both growth performance and digestibility of OM and GE were reduced in the same manner. In contrast, a similar growth performance to C was achieved by pre-treating PHBV. A positive ($P < 0.01$) effect on the mean digestibility of OM and GE was observed, too. OM and GE digestibilities equivalent to C were attained for the 10 % substitution but increase was not sufficient to avoid a statistically significant difference to C at the 20 % level. Pre-treatment increased significantly ($P < 0.01$) digestibility of PHBV; yet untreated PHBV was apparently not digested. On average 37 % of pre-treated PHBV was digested. This corresponded to the 40 % monomeric part formed by pre-treatment. Hence, only the monomeric acids formed by pre-treatment may have contributed to the increase in digestibility. Pigs were fed diets containing PHBV over a long period without grave repercussion on growth and health.

No signs of malaise due to PHBV or pre-treatment were observed in wethers. In disagreement with the first experiment in sheep, the untreated PHBV was digested to a considerable amount. Average digestibility of untreated PHBV was 61 % and for pre-treated 90 %. Pre-treatment increased digestibility of PHBV by 50 %. Digestibility of OM, GE and fibre fractions were improved by both pre-treatment and increased level of PHBV. An elevated digestibility of untreated as well as pre-treated PHBV was confirmed in the Rusitec experiment. These results suggest the presence of agents like enzymes and microbes, which are able to degrade PHBV.

In all trials, plastic inclusion revealed no negative interaction with nitrogen digestion. Promising results were achieved with the inclusion of up to 10 % of pre-treated biodegradable plastic in animal feed. However, aspects like the influence of the milling grade on digestibility and of the long-term nutrition of pre-treated feed on the animal health need additional investigations.

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, bioabbaubare Kunststoffe durch landwirtschaftliche Nutztiere wiederzuverwerten. Bioabbaubare Kunststoffe sind bekannt als kohlenstoff- und energiespeichernde Verbindungen. Die Frage war, ob Tiere einen Nutzen aus dem Abbau solcher Substanzen zu ziehen vermögen. Schweine und Hammel wurden als Vertreter der Monogastrier, respektive der Wiederkäuer ausgewählt. Je Tierart wurde eine Reihe mit zwei oder drei Versuchen durchgeführt, um die Effekte von unbehandeltem Kunststoff, einer erhöhten Substitution und der Vorbehandlung auf die Verdaulichkeit, den Stoffwechsel und die Mastleistung zu untersuchen.

In der ersten Versuchsserie wurden jeweils 8 % Strohmehl bzw. die unbehandelten bioabbaubaren Kunststoffe Poly(3-Hydroxybutyrat-co-3 Hydroxyvalerat) (PHBV) und Polycaprolacton (PCL) einer Standardration für Schweine und einer Heu-Maismehl Ration (50:50 auf der Basis der Trockensubstanz) für Hammel beigemischt. In der zweiten Versuchsreihe ersetzten unterschiedliche Anteile von PHBV (10 und 20 %) die zu der ersten Versuchsreihe vergleichbaren Kontrollrationen (C). Zur Verbesserung der Verdaulichkeit wurde das PHBV zusätzlich mit 40 g Natronlauge pro kg Futter (Trockensubstanz bei den Hammeln) vorbehandelt. Zum Versuch mit den Hammeln wurde ergänzend eine *in vitro* Simulation der Pansenverdauung (Rusitec) durchgeführt, um den Effekt der Vorbehandlung sowie des Plastikanteils mit den *in vivo* Vorgängen zu vergleichen.

Die Resultate der ersten Versuchsreihe zeigten, dass unbehandelte bioabbaubare Kunststoffe weder für Schweine noch für Schafe eine verwertbare Energiequelle darstellen. Bei den wachsenden Schweinen führte die Substitution mit bioabbaubarem Kunststoff zu einer geringeren Mastleistung und zu einer reduzierten Verdaulichkeit der Nährstoffe. Die Rationen mit Kunststoff zeigten sogar eine tiefere ($P < 0.001$) scheinbare Verdaulichkeit der organischen Substanz (OS) und der Bruttoenergie (BE) als die Ration mit Strohmehl. Stroh, PHBV und PCL reduzierten die scheinbare Verdaulichkeit der BE um 7 %, 14 % bzw. 18 %. Bei den Schweinen wurden im Durchschnitt 16 % des PHBV und 31 % des PCL verdaut. Die Hammel zeigten im Gesamtstoffwechselversuch vergleichbare Werte. Im Durchschnitt wurden 5 % des PHBV und 33 % des PCL verdaut. Der Einfluss der bioabbaubaren Kunststoffe auf die Verdaulichkeit der Faser

war von besonderem Interesse, da sie in der Analyse in der Faserfraktion auftraten und ihnen auch eine solche physiologische Wirkung zugeschrieben wurde. Jedoch waren die Resultate diesbezüglich widersprüchlich. PHBV verursachte eine Reduktion und PCL einen Anstieg der NDF- und ADF-Verdaulichkeit im Vergleich zu Stroh. Die Messungen des Energiestoffwechsels bestätigten die schlechte Verdaulichkeit der bioabbaubaren Kunststoffe mit einem 5 % höheren Energieverlust über den Kot als bei C. Die Energieverluste über Urin und Methan wurden nicht beeinflusst. In der Folge war die Konzentration der verdaulichen Energie (MJ pro kg TS) tiefer ($P < 0.05$) für PHBV und PCL als C und diejenige für Stroh lag im mittleren Bereich.

In der zweiten Versuchsreihe mit erhöhten Anteilen an unbehandeltem PHBV wurden die Resultate der ersten Versuchsreihe bei den Schweinen bestätigt, da die Mastleistung sowie die Verdaulichkeit von OS und BE gleichermaßen reduziert wurden. Im Gegensatz dazu wurde durch die Vorbehandlung des PHBV eine ähnliche Mastleistung erreicht wie bei C. Ein positiver ($P < 0.01$) Effekt auf die durchschnittliche scheinbare Verdaulichkeit der OS und der BE wurde ebenfalls erzielt. Beim Ersatz von 10 % entsprachen die OS und BE Verdaulichkeit den Werten bei C während der Anstieg beim Ersatz von 20 % nicht ausreichte, um signifikante Unterschiede zu vermeiden. Die Vorbehandlung hatte einen signifikanten ($P < 0.01$) Anstieg der Verdaulichkeit von PHBV zur Folge; unbehandeltes PHBV wurde nicht verdaut. Im Durchschnitt wurden 37 % des vorbehandelten PHBV verdaut. Das stimmte mit dem Anteil an Monomeren (40 %) überein, die durch die Vorbehandlung gebildet wurden. Demzufolge entstand der Anstieg der Verdaulichkeit durch die Bildung von Monomeren. Die Reduktion des durchschnittlichen Molekulargewichts des polymeren Rests durch die Vorbehandlung hatte anscheinend keinen Einfluss auf die Verdauung von PHBV. Den Schweinen wurden ohne tiefgreifende Auswirkungen auf Wachstum und Gesundheit während längerer Zeit Rationen mit PHBV verfüttert.

Die Hammel zeigten ebenfalls keine Anzeichen einer gesundheitlichen Beeinträchtigung durch PHBV oder durch die Vorbehandlung. Im Gegensatz zum ersten Versuch mit Schafen wurde das unbehandelte PHBV vergleichsweise gut verdaut. Die durchschnittliche Verdaulichkeit von unbehandeltem PHBV betrug 61 % und von vorbehandeltem 90 %. Die Vorbehandlung steigerte die Verdaulichkeit von PHBV um 50 %. Die Verdaulichkeit der OS, BE und der Faserfraktionen wurde sowohl durch die

Vorbehandlung als auch durch den erhöhten Anteil an PHBV verbessert. Im Rusitec-Versuch wurde eine relativ hohe Verdaulichkeit von un- sowie vorbehandeltem PHBV bestätigt, was auf das Vorhandensein von Enzymen oder Mikroben hindeutet, die PHBV abbauen können.

Die Stickstoffverdaulichkeit blieb bei allen Versuchen unbeeinflusst vom Einsatz bioabbaubarer Kunststoffe. Die Verfütterung von bis zu 10 % vorbehandelter bioabbaubarer Kunststoffe an Tiere ergab vielversprechende Resultate, wobei die Schafe sich als bessere Verwerter herausstellten. Jedoch bedürfen gewisse Aspekte wie der Einfluss der Mahlfineinheit auf die Verdaulichkeit von PHBV und die Langzeitwirkung der Vorbehandlung auf die Gesundheit der Tiere weiterer Untersuchungen.