

Diss. ETH No. 13424

**THE EFFICIENCY OF DIETARY TRIVALENT CHROMIUM ON ENERGY
AND NITROGEN METABOLISM, GROWTH PERFORMANCE, AND
CARCASS CHARACTERISTICS OF GROWING-FINISHING PIGS UNDER
VARIOUS NUTRITIONAL CONDITIONS**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

Andreas Lemme

Dipl.-Ing. agr., Göttingen (Germany)

born May 14, 1968

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. C. Wenk, examiner

Prof. Dr. M. Lindemann, co-examiner

Dr. G. Bee, co-examiner

Zürich 1999

SUMMARY

Since the late fifties trivalent Chromium (**Cr**) is known as essential trace element which is involved in insulin metabolism. Moreover chromium research brought evidence that chromium takes part also in further physiological mechanisms. With regard to pig production, published data deriving mostly from the USA seems to be inconsistent probably because of a variety in material and methods applied.

Therefore, the purpose of the first study was to examine whether supplemented trivalent chromium from Cr-yeast affects performance and carcass characteristics in growing-finishing pigs under Swiss conditions and if there is a dose response relationship. Ten Swiss Large White pigs per treatment (24.5 initial to 105.5 kg final live weight) were fed a barley-wheat-soybean meal diet supplemented with either 0 (**C**), 200 (**C200**), 400 (**C400**), or 800 µg/kg Cr (**C800**) on a restricted feeding scale basis. Pigs receiving the C200 diet showed both improved average daily gain and feed conversion ratio compared to treatment C for the total experiment, especially in the second phase of fattening. While carcass measurements and composition, as well as fatty acid profile, were not significantly affected by the Cr supply, analysed concentration of plasma insulin, triglycerides, NEFA, urea N and ketone bodies gave evidence that supplemented Cr affected carbohydrate and fat metabolism. The failure of plasma metabolite changes to be reflected in whole body composition may have been dependent on the lean breed and the feeding regime (restricted feeding scale in this experiment *vs ad libitum* in other reported experiments). Since treatment C200 showed the clearest effect Cr supplemented diets of further trials contained 200 µg/kg Cr from Cr yeast.

The aim of the second study was to evaluate if there is a relationship between effects of supplemented Cr and glycemic index (**GI**) of the diet (kind and content of dietary carbohydrates). Therefore performance, energy and protein digestibility, carcass composition, and plasma traits of four dietary treatments (**HG0**, **HG200**, **LG0**, **LG200**) were investigated in 40 Swiss Large White barrows (31.7 initial - 103.7 kg final live weight), 10 animals per treatment. The trial was arranged as a 2x2 factorial design with GI (high and low) and Cr supplementation (0, 200 µg/kg) as the main factors. The data indicated, that the substitution of dietary carbohydrates through fat and crude fibre (low

GI) resulted in lower growth performance very likely by impaired energy digestibility. Moreover the strong stimulation of insulin secretion due to the high and fast availability of carbohydrates deriving from the high GI diets might have contributed to the increased carcass fat deposition. Cr supplementation also affected plasma insulin and glucagon concentrations. Depending on GI, Cr affected the growth performance where daily gain was reduced in pigs of the LG200 treatment compared to the LG0 group. This finding indicated that the energy availability expressed as the GI is one of several nutritional factors, which determine the efficacy of dietary Cr. In accordance to the results of the first experiment carcass evaluation did not corroborate evidences from the literature that dietary chromium modifies the chemical composition of the carcass.

The third experiment was focused on the dietary protein supply which is discussed to be a factor influencing chromium's effects. The objective of this balance and respiration experiment was to investigate the effects of dietary Cr supplementation at two protein levels (**CP**) on protein and fat accretion in finishing pigs. Sixteen Swiss Large White pigs (48.2 kg initial – 83.0 kg live weight) were allocated to one of four diets (**HP0**, **HP200**, **LP0**, **LP200**) involving a combination of two main dietary factors: 1) crude protein supply at 15.5 and 20.5 % with equal lysine, threonine, methionine, cystine, and tryptophan levels and 2) Cr supplementation as Cr yeast (0, 200 µg/kg). With respect to the previous trial all diets had a high GI. Energy digestibility was improved at high CP level but since energy losses by urine and heat were increased energy balance was unaffected by dietary protein. However, utilisation of total metabolisable energy as well as of metabolisable energy for growth was higher at low compared to high CP supply. Fat digestibility was impaired whereas nitrogen digestibility was improved by increasing the dietary CP content. However, due to higher nitrogen losses no clear effect on nitrogen utilisation could be observed. Despite the dietary CP content being close to proposed dietary recommendation, protein accretion was lower and fat deposition was higher in pigs fed the low CP diets. This finding is likely a consequence of a proportional lack of the essential amino acids histidine, isoleucine, and valine. The relatively high absolute concentrations of synthetic amino acids in the LP-mixture compared to the HP mixture combined with feeding merely once a day might have also contributed to the lower N-retention in pigs of the LP treatments.

Cr supplementation improved nitrogen and fat digestibility at both CP levels,

Summary

whereas energy was improved merely at high CP supply. At high CP provision urinary N losses were decreased and protein accretion was increased by dietary Cr resulting in improved N utilisation. Heat production was enhanced in pigs fed the HP200 diet compared to those of the HP0 treatment. Fat accretion was reduced due to Cr supplementation at both CP levels. The present data suggest that Cr stimulates protein deposition dependent on source and composition of dietary protein and lowers fat accretion independent of the dietary CP supply while total energy retention and utilisation is unchanged.

ZUSAMMENFASSUNG

Seit Ende der 50er Jahre gilt das dreiwertige Chrom (**Cr**) als essentielles Spurenelement. Insbesondere dessen Verbesserung der Insulinwirksamkeit ist hier von Bedeutung aber es gibt auch Hinweise, dass Cr in weitere physiologische Mechanismen eingebunden ist. In der Schweineproduktion zeigen Publikationen, die mehrheitlich aus den USA stammen, oft scheinbar widersprüchliche Ergebnisse. Grundlegende Unterschiede in Material und Methoden mögen hier z.T. die Ursache gewesen sein.

Daher wurde in einer ersten Studie untersucht, ob und in welcher Dosis supplementiertes dreiwertiges Chrom in Form von Chromhefe unter schweizerischen Fütterungsbedingungen die Mastleistung und die Schlachtkörperqualität von wachsenden Schweinen beeinflusst. Je zehn Kastraten der Rasse Schweizer Edelschwein pro Variante (24.5 kg Anfangs- bis 105.5 kg Endgewicht) wurden mit einer Gersten-Weizen-Sojaschrot Mischung gefüttert, die entweder 0 (**C**), 200 (**C200**), 400 (**C400**) oder 800 ppb Cr (**C800**) beinhaltete. Die Fütterung erfolgte restriktiv in Anlehnung an schweizerische Empfehlungen.

Die Schweine der Variante C200 hatten verglichen mit der Variante C bessere Tageszunahmen und eine günstigere Futtermittelverwertung insbesondere in der Endmastphase während in den Varianten C400 und C800 kein Cr-Effekt zu beobachten war. Die Schlachtkörperqualität sowie die Fettsäurenmuster des extrahierten Schlachtkörperfettes liessen keinen Cr-Einfluss erkennen. Es wurde vermutet, dass eine Cr-induzierte Reduktion des Fettansatzes durch die ohnehin mageren Tiere, bedingt durch den verwendeten Genotyp (in diesem Fall eine Rasse mit hohem Fleischansatzvermögen) sowie dem Fütterungsregime (restriktiv gegenüber *ad libitum*), verhindert wurde. Hingegen deuteten die Konzentrationen von Insulin, Triglyceriden, freien Fettsäuren, Harnstoff und Ketonkörpern im Plasma darauf hin, dass Cr den Kohlehydrat- und Fettstoffwechsel beeinflusste.

Da bei Variante C200 die deutlichste Wirkung zu beobachten war enthielten die Cr supplementierten Mischungen der folgenden Versuche 200 ppb Cr aus Chromhefe.

Im zweiten Versuch sollte der Frage nachgegangen werden ob der glykämische Index (**GI**, Typ und Menge an Kohlenhydraten) des Futters die Auswirkungen einer Cr-

Zulage beeinflusst. Deshalb wurde an 40 Kastraten der Rasse Schweizer Edelschwein (31.7 kg Anfangs- bis 103.7 kg Endgewicht), welche gleichmässig in die vier Varianten **HG0**, **HG200**, **LG0** und **LG200** aufgeteilt wurden, die Mastleistung, die Energie- und Proteinverdaulichkeit, die Schlachtkörperqualität sowie einige Blutparameter untersucht. Der Versuch wurde mit den Faktoren GI (hoch und niedrig) und Cr-Supplementierung (0 und 200 ppb Cr) im 2 x 2 Design angelegt.

Der Austausch von Kohlenhydraten durch Fett und Rohfaser (niedriger GI) resultierte in einer herabgesetzten Leistung, was sehr wahrscheinlich mit einer verschlechterten Energieverdaulichkeit im Zusammenhang stand. Der höhere Fettansatz der Tiere der HG-Varianten wurde neben der besseren Energieverfügbarkeit möglicherweise auch durch eine starke Insulinsekretion stimuliert.

Die Cr-Zulage beeinflusste ebenfalls die Insulin- und Glukagonkonzentrationen im Plasma. Hinsichtlich der Mastleistung bestand eine Wechselwirkung zwischen Cr-Supplementierung GI, wobei die Cr-Zulage bei niedrigem GI (LG200) zu einem Rückgang der Tageszunahmen führte. Diese Beobachtungen weisen darauf hin, dass der GI ein Nahrungs-Faktor zu sein scheint, der Einfluss auf die Cr-Wirkung nehmen kann. Uebereinstimmend mit dem ersten Experiment wurden Literaturangaben, welche eine Cr-bedingte Reduktion im Fettansatz postulierten, durch die Schlachtkörper-Untersuchungen nicht bestätigt.

Das dritte Cr-Experiment beschäftigte sich mit dem Rohproteingehalt (**RP**) des Futters, welcher als weiterer Einflussfaktor diskutiert wird. Ziel dieser Gesamtstoffwechsel-Untersuchung war es, die Wirkung einer Cr-Zulage (0 bzw. 200 ppb) bei zwei verschiedenen RP-Leveln (15.5 bzw. 20.5 %) auf den Nährstoffansatz von Schweinen im Lebendmassebereich 48.2 bis 83.0 kg zu untersuchen. Dafür wurden 16 Kastraten der Rasse Schweizer Edelschwein auf die vier Futtervarianten **HP0**, **HP200**, **LP0**, **LP200** verteilt. Im Gegensatz zu anderen Cr-Versuchen, die sich mit dieser Thematik beschäftigten, waren die Lysin-, Methionin-, Cystin-, Threonin- und Tryptophankonzentrationen waren in allen Mischungen gleich. Analog zu den Futtermischungen der zweiten Studie war der GI in allen Diäten hoch.

Die Energieverdaulichkeit war beim hohen RP-Niveau günstiger als beim tiefen, aber aufgrund höherer Harn und Wärme-Energieverluste der Schweine der HP-Varianten

konnten hinsichtlich der Energiebilanz keine klaren Unterschiede zwischen den Varianten beobachtet werden. Dennoch, sowohl die totale Verwertung der umsetzbaren Energie (ME) als auch die Verwertung der ME für Wachstum war vergleichsweise effizienter bei den Tieren mit niedriger RP-Versorgung. Eine reduzierte Fettverdaulichkeit wurde in den HP-Varianten beobachtet während die Stickstoffverdaulichkeit bei diesen Tieren verbessert war. Allerdings konnte aufgrund höherer Stickstoffverluste kein klarer Futterproteineinfluss auf die Stickstoffverwertung bei den Schweinen, die mit den HP-Diäten gefüttert wurden, gefunden werden. Obwohl der Proteingehalt des LP-Futters den Empfehlungen entsprach, war der Proteinansatz geringer und der Fettansatz der Tiere der entsprechenden Varianten höher im Vergleich zu den HP-Tieren. Diese Beobachtungen ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass andere essentielle Aminosäuren, wie z.B. Histidin, Isoleucin und Valin in einem relativen Mangel vorlagen. Insbesondere unter Berücksichtigung der einmaligen täglichen Fütterung kann auch der relativ höhere Anteil an synthetischen Aminosäuren im LP Futter die N-Retention limitiert haben.

Die Cr-Zulage verbesserte die Stickstoff- und die Fettverdaulichkeit unabhängig vom RP-Gehalt der Ration, wohingegen die Energieverdaulichkeit lediglich bei hohem Proteinniveau (HP200) verbessert wurde. Bei hoher RP-Versorgung waren in der Variante HP200 im Vergleich zur Variante HP0 geringere Harnstickstoff-Verluste und ein erhöhter Proteinansatz festzustellen, was in einer besseren Stickstoffverwertung zum Ausdruck kam. Die Wärmeproduktion war ebenfalls in der HP200 Variante höher als in der HP0 Gruppe was im Zusammenhang mit dem Proteinansatz steht. Die Tiere der Cr-Varianten setzten unabhängig von der Proteinversorgung weniger Fett an als die jeweiligen Kontrollgruppen. Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass hinsichtlich des Proteinansatzes der Cr-Effekt vom RP-Gehalt der Ration bzw. auch von der Herkunft des Futterproteins abhängt. Da im Gegensatz zum Nährstoffansatz der Energieansatz und die Energieverwertung von der Cr-Supplementierung unbeeinflusst war, liegt die Vermutung nahe, dass supplementiertes Chrom die Gesamtausnutzung des Futterproteins nicht verbessert aber die für den Ansatz zur Verfügung stehende Energie umverteilt.