

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chovu hospodářských zvířat



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Eliminace skatolu u vykrmovaných kanečků

Bakalářská práce

Vojtěch Hunal

Chov hospodářských zvířat

prof. Ing. Roman Stupka, CSc.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci Eliminace skatolu u vykrmovaných kanečků jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.4.2022

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Romanovi Stupkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a vstřícnou pomoc při zpracování bakalářské práce.

Eliminace skatolu u vykrmovaných kanečků

Souhrn

Bakalářská práce má za cíl sepsat literární rešerši týkající se problematiky výskytu kančího pachu a nových přístupů při eliminaci skatolu a indolu ve vepřovém mase vykrmovaných kanečků.

V úvodní kapitole je popsána obecně charakteristika kančího pachu. Následující kapitola se věnuje jedné z nejvýznamnějších složek kančího pachu, kterou je skatol. Je zde popsán vznik, charakteristika, metabolismus i akumulace. V další části bakalářské práce jsou popsány faktory, které skatol ovlivňují. Mezi ně se řadí genotyp, pohlaví, věk, hmotnost, prostředí, ale i velmi důležitý faktor výživa prasat.

V této práci nalezneme i kapitolu věnující se neméně důležité oblasti týkající se skatolu, kterou je jeho detekce. V současnosti je dostupných několik metod a některé z nich mají potenciál pro jejich využití jako přesné a rychlé on-line metody k detekci skatolu na porážkových linkách.

Poslední a zároveň nejrozsáhlejší kapitola se zabývá možnými opatřeními k eliminaci kančího pachu, z nichž největší potenciální využití má krmení krmnými aditivami, imunokastrace, výkrm do nižší porážkové hmotnosti a genetická selekce. Jako zajímavé se jeví například zkrmování inulinu z kořene čekanky. To prokázalo při pokusech poměrně dobré výsledky vedoucí ke snížení skatolu. Naproti tomu jsou v této práci popsány i krmné doplňky, které jsou pro krmení prasat vzhledem k výskytu skatolu nevhodné.

Klíčová slova: prase, skatol, indol, kančí pach

Elimination of skatole in fattened boars

Summary

This bachelor thesis aims to write a literature search on the problematics of boar taint and new approaches to the elimination of skatole and indole in the pork of fattened boars.

The introductory chapter describes the general characteristics of boar taint. The next chapter deals with one of the most important components of boar taint, which is skatole. The origin, characteristics, metabolism and accumulation are described here. The next part of the thesis describes factors that affect skatole. These include genotype, sex, age, weight, environment but also a very important factor in pig nutrition.

In this thesis we also find a chapter deals with an equally important area concerning skatole which is its detection. Several methods are currently available and some of them have the potential to be used as accurate and fast online methods for detecting skatole on slaughter lines.

The last and at the same time the most extensive chapter deals with possible measures to eliminate boar taint of which the greatest potential use has the feeding of feed additives, immunocastration, fattening to lower slaughter weight and genetic selection. For example, feeding inulin from chicory root seems to be interesting. This showed relatively good results in experiments leading to a reduction in skatole. On the other hand, this thesis also describes feed supplements that are unsuitable for feeding pigs due to the occurrence of skatole.

Keywords: pig, skatole, indole, boar taint

1 Obsah

2 Úvod	- 1 -
3 Cíl práce.....	- 2 -
4 Literární rešerše.....	- 3 -
4.1 Charakteristika kančího pachu	- 3 -
4.2 Skatol.....	- 3 -
4.2.1 Popis	- 3 -
4.2.2 Biosyntéza a metabolismus skatolu	- 3 -
4.2.3 Akumulace skatolu	- 4 -
4.2.4 Vnímání skatolu.....	- 4 -
4.3 Faktory ovlivňující výskyt skatolu	- 5 -
4.3.1 Genotyp.....	- 5 -
4.3.2 Pohlaví	- 9 -
4.3.3 Hmotnost a věk	- 9 -
4.3.4 Výživa a krmení.....	- 10 -
4.4 Detekce skatolu.....	- 14 -
4.4.1 Chemické senzory (elektronické nosy).....	- 14 -
4.4.2 Hmotnostní spektrometrie (Mass spectrometry)	- 15 -
4.4.3 Spektrofotometrie	- 15 -
4.4.4 Rychlá plynová chromatografie.....	- 15 -
4.4.5 Plyná spektrometrie (FTIR).....	- 15 -
4.4.6 Biosenzory	- 16 -
4.5 Možnosti eliminace skatolu	- 16 -
4.5.1 Vytvoření vhodného prostředí	- 16 -
4.5.2 Management chovu.....	- 16 -
4.5.3 Hmotnost a věk	- 16 -
4.5.4 Selektce.....	- 17 -
4.5.5 Imunokastrace.....	- 18 -
4.5.6 Modifikace výživy, krmná aditiva	- 18 -
5 Závěr	- 25 -
6 Literatura.....	- 26 -

2 Úvod

Bakalářská práce se zabývá významným problémem dneška v chovu prasat, který se dotýká chovatelů, zpracovatelů a konzumentů. Jedná se o eliminaci skatolu ve vepřovém mase.

Chov prasat v České republice má velkou tradici. V dnešní době se ale počty chovaných prasat u nás velmi redukuje. V roce 1989 se u nás chovalo téměř 4,7 milionů prasat. V roce 2020 to nebylo ani 1,5 milionů zvířat. Velké snížení počtu chovaných prasat mají na svědomí nízké výkupní ceny vepřového masa, což znamená, že chovy se stávají nerentabilními. Česká republika je ve vepřovém mase soběstačná zhruba z 53 %.

Eliminace kančího pachu byla do současnosti běžně řešena jedním způsobem. A to chirurgickou kastrací kanečků. Ovšem po vlně kritiky a většímu zájmu veřejnosti a různých organizací bojujících za práva zvířat, se stupňuje tlak na zvyšování welfare v chovu prasat. To vyústilo v tlak na omezování chirurgické kastrace kanečků a v hledání nových způsobů, čím chirurgickou kastraci nahradit.

Jedním z možných řešení je využití takzvané imunokastrace. To znamená, že kanečci se vakcinují preparátem, který inhibuje funkci varlat a zabraňuje tak vzniku kančího zápachu. Další způsob praktikovaný v několika evropských zemích je výkrm kanečků, kdy se vzniku kančího pachu zabraňuje maximálně přidáváním krmných aditiv, které se přidávají do potravy a snižováním věku. Toto se aplikuje například v Norsku, Švýcarsku anebo Holandsku.

Všechny alternativní metody s sebou ovšem přináší také mnohá negativa pojící se právě s výkrmem kanečků. Například výkrm kanečků do nižší porážkové hmotnosti má nižší rentabilitu kvůli vyšší potřebě selat. Je zřejmé, že by musely být navýšeny kapacity reprodukce. Na výkrm kanečků není připraven následně ani zpracovatelský průmysl. Velkou nevýhodou je i zvýšený projev samčího chování, které se projevuje vyšší agresivitou, což často vede ke zraněním, neklidu ve skupině a nižšímu přírůstku. Je ale potřeba zmínit, že na druhou stranu má výkrm kanečků také několik výhod, například ve spojení s imunokastrací. Jednou z nich je, že při výkrmu můžeme využít lepších růstových schopností kanečků, tím získat lepší přírůstek, lepší konverzi krmiva a zároveň i vyšší zmasilost.

3 Cíl práce

Cílem této práce je vytvořit literární řešení týkající se problematiky výskytu a nových přístupů při eliminaci skatolu ve vepřovém mase vykrmovaných kanečků.

4 Literární rešerše

4.1 Charakteristika kančího pachu

Kančí pach je specifický pachový projev. Jeho výskyt v mase je hodnocen jako negativní. Projevuje se u samčí části populace, zejména u pohlavně dospělých či dospívajících jedinců. Jeho projev souvisí i s dědičnou dispozicí (Bernardy 2010). Výskyt kančího pachu je při běžných porážkových hmotnostech velmi variabilní a pohybuje se v rozmezí od 10 do 75 %. Mezi různými zeměmi jsou velké rozdíly ve vnímání kančího pachu mezi spotřebiteli (Malmfors & Lundström 1983).

Kančí pach je tvořen dvěma nejvýznamnějšími složkami. Androstenonem a skatolem. Kromě těchto zmíněných je kančí pach tvořen i dalšími složkami jako je indol a další androstenonové steroidy (Okrouhlá et al. 2016).

4.2 Skatol

4.2.1 Popis

Skatol (3-metyl indol) vzniká v tlustém střevě mikrobiálním rozkladem tryptofanu v anaerobních podmínkách (Dostálová et al. 2008). Jeho vznik je zapříčinen činností střevních bakterií rodu *Escherichia coli*, *Clostridium ssp.* a *Lactobacillus ssp.* (Hügel 2010). Většina těchto bakterií je schopná metabolizovat tryptofan na indol a kyselinu indol octovou, která je hlavním prekurzorem skatolu. Ale jen některé střevní bakterie mohou katalyzovat dekarboxylaci kyseliny indol octové na skatol (Čítek et al. 2019).

4.2.2 Biosyntéza a metabolismus skatolu

Odpad buněk, které tvoří výstelku střeva, je hlavním zdrojem tryptofanu. Z něho poté za pomoci činnosti střevní mikroflóry vzniká skatol (Claus & Raab 1999). Tvorba skatolu není v celém tlustém střevě stejná. Mění se v závislosti na konkrétním místě střeva. Obecně se dá říct, že se v průběhu zvyšuje, ale vůbec k největší tvorbě dochází v distální části střeva (Jensen 2006). Část skatolu odchází ze střev výkaly a část je pomocí krve transportována portální žílou do jater (Dostálová et al. 2008). Tato biosyntéza má dvě fáze. V první fázi vzniká z tryptofanu indolpyruvát. Ten se dále mění působením deaminázy na kyselinu indol-3-mléčnou a indol-3-pyrohroznovou. Tyto kyseliny se pomocí dekarboxylázy mění dále na kyselinu indol-3-octovou. Právě z ní ve druhé fázi vzniká skatol (Cook et al. 2007; Whitehead et al. 2008).

Metabolismus skatolu probíhá v játrech, kde je metabolizován enzymatickým systémem CYP450 (Dostálová et al. 2008). Tento systém u kanců do velké míry ovlivňuje androstenon. To poukazuje na existenci spojitosti mezi hladinami těchto dvou látek (Wesoly et al. 2015).

Metabolismus skatolu má dvě fáze. Oxidační fázi a konjugační fázi. V první (oxidační) fázi vzniká 3-hydroxy-3-methyl-oxindol, 2-aminoacetofenon, 5-hydroxy-3-methylindol, 3-hydroxy-3-methyl-indolenin, indol-3-karbinol a 6-hydroxy-3-methylindol. V této první fázi jsou hlavními enzymy CYP2E1 a CYP2A (Wesoly & Weiler 2012).

Ve druhé fázi metabolismu vznikají 6-sulfatoxy-skatol, sulfátované nebo glukuronové konjugáty 5-hydroxy-3-methylindolu a 3-hydroxy-3-methyl-oxindolu (Wiercinska et al. 2012). V této druhé fázi mají největší význam enzymy SULT1A1 (sulfotransferáza) a UGT (uridin-di-fosfát-glukoronsyltransferáza). Ty nejsou pouze v játrech, ale vyskytují se i v ledvinách nebo plicích (Sinclair & Squires 2005). Metabolity skatolu zvyšují během druhé fáze svou rozpustnost ve vodě a dochází tedy k jejich snazšímu vyloučení v moči (Rasmussen et al. 2012).

4.2.3 Akumulace skatolu

Podstatné množství skatolu je z těla vyloučeno. Zejména pomocí výkalů a moči (Friis 1993). Zbytek (cca 13 %) se vstřebává pasivní difuzí do krevního oběhu a je krví transportován portální žílou do jater a tam poté metabolizován (Babol et al. 1999; Dostálová et al. 2008). Nemetabolizovaný skatol je krví transportován do tukové tkáně, kde se ukládá (Čítek et al. 2019).

Aby se skatol intenzivně ukládal do tuku, musí být splněno několik podmínek. Mezi ně patří: velké množství tryptofanu, přítomnost mikrobiálních kmenů pro syntézu skatolu, nedostatek zdrojů energie pro mikrobiální faunu, vysoká rychlost absorpce tráveniny, snížená degradace skatolu, vysoká koncentrace skatolu v krvi a nízký zpětný vstup z tuku do krve (Deslandes et al. 2001).

4.2.4 Vnímání skatolu

Skatol je vnímán velmi negativně. Například velká část populace obtížně detekuje androstenon. Ovšem skatol vnímá až 99 % lidské populace. Prahové hodnoty, kdy začíná být skatol vnímatelný, jsou v rozmezí 0,2-0,25 µg/g tuku (Zadinová 2017).

Stopové množství skatolu dokonce můžeme vnímat jako pozitivní vůně. Vyšší hodnoty už jsou ale vnímány jako zápach, který může asociovat výkaly zvířat (Lapčík 2008).

4.3 Faktory ovlivňující výskyt skatolu

Hlavními faktory, které ovlivňují produkci skatolu jsou dle Wooda et al. (1995) genetika, výživa a prostředí. Dostálová et al. (2008) uvádějí také faktory hmotnosti a stáří zvířete.

4.3.1 Genotyp

4.3.1.1 Plemenná příslušnost

Výzkumy potvrdily, že kančí pach je ovlivňován mnoha faktory (Robic et al. 2008). Bylo identifikováno celkem 46 QTL pro androstenon, skatol a indol. Z toho konkrétně pro skatol byly QTL identifikované na chromozomech 1,2,3,6,7,9, 14 a 15 (Gregersen et al. 2012). Grindflek et al. (2011) studovali závislosti dědičnosti skatolu. Výzkum probíhal u plemen Landrace (L) a Duroc (D). Vyšší průměrná hodnota skatolu v tuku byla u plemene L, konkrétně 0,10 µg/g. Plemeno D mělo průměrnou hodnotu 0,06 µg/g. Mezní hodnota pro spotřebitele je 0,20 µg/g, což znamená, že hodnotu kanci plemene L překračují ve 14,5 %. U kanců plemene D je to v 9,5 %. Z těchto výsledků můžeme usuzovat, že kanci plemene D jsou pro spotřebitele vhodnější kvůli nižšímu obsahu skatolu v tuku. Tajet et al. (2006) dokazují, že heritabilita produkce skatolu pro plemena D a L se pohybuje v intervalu 0,37 - 0,41.

Mezi různými plemeny a liniemi prasat existují rozdíly v koncentracích skatolu, které jsou geneticky podmíněné (Latorre et al. 2003). U zušlechtilých plemen byla zjištěna nižší tvorba skatolu, než u plemen primitivních (Dostálová et al. 2008).

4.3.1.2 Vliv genů

Pomocí porovnání genotypů neznámých markerů s fenotypem nebo konkrétním zkoumaným znakem lze rozpoznat lokusy kvantitativních znaků (QTL, Quantitative trait loci). Tyto lokusy kvantitativních znaků obsahují geny ovlivňující konkrétní vlastnost. Porovnání se provádí u genotypů neznámých markerů, které jsou rozmístěné po celém chromozomu. Kandidátní geny mohou být identifikovány studiem genů, které se nachází v oblasti QTL, dříve identifikované neznámým markerem (Squires 2006). Lee et al. (2005) popsali chromozom SSC14 (SSC – sus scrofa chromosome) a nazvali ho místem s nejvíce QTL, které ovlivňují hladiny skatolu a indolu. Z toho vyplývá, že hladiny skatolu a indolu ovlivňuje větší počet genů.

Dále je možné kurčování vhodných genů využít studium polymorfismů v kandidátních genech. Obyvkle jde o SNP. Kandidátní geny mohou kódovat důležité enzymy pro metabolismus jednotlivých složek kančího pachu. V kódující oblasti těchto genů se nachází polymorfismy, které právě mohou ovlivňovat hladiny těchto složek (Squires 2006). Ramos et al. (2011) našli na distálním konci chromozomu 6p

(SSC6p) několik SNP markerů, které souvisí s hladinou skatolu. Tyto SNP markery jsou seskupeny do 3 samostatných clusterů. Značné rozdíly byly pozorovány především mezi homozygoty v jednotlivých skupinách. Jednotlivé SNP markery vysvětlují až 22 % fenotypové variability (Čítek et al. 2019).

4.3.1.3 Geny pro skatol

Podle Diaz & Squires (2000) mají na I. fázi metabolismu skatolu v játrech největší vliv geny CYP2A6 a CYP2E1. Wiercinska et al. (2012) uvádí, že mezi geny významně ovlivňující metabolismus skatolu můžeme také ještě řadit geny CYP2A19 a CYP2C49. Skinner et al. (2006) zkoumal vliv genu CYP2C18. Zkoumání prováděl na dánské hybridní populaci (L, LW, D), jeho vliv ale nebyl prokázán. Vliv CYP2E1 potvrdil i Matal et al. (2009). Dle jeho názoru je dobré zaměřit se i na geny CYP2A19 a CYP1A2 vzhledem k jejich možnému vlivu na metabolismus skatolu a následnou tvorbu metabolitů. SULT1A je naopak nejvýznamnější ve II. fázi metabolismu skatolu (Babol et al. 1998a). Lanthier et al. (2007) vytvářeli studii zaměřenou na prepubertální kanečky. Při vypracovávání této studie zkoumali kromě vlivu CYP2E1, CYP2A6 a SULT1A1 i vliv aldehyd oxidázy (AO) na metabolismus skatolu.

ž

4.3.1.4 Geny ovlivňující I. fázi metabolismu skatolu

4.3.1.4.1 Geny rodiny CYP (cytochrom P450)

CYP2A6 (u prasat CYP2A19)

Duijvesteijn et al. (2010) uvádí, že gen, který je v lidském genomu označován jako CYP2A6, se shoduje s genem CYP2A19 u prasat. Ve spoustě publikací, které se zabývají problematikou kančího pachu ho ovšem můžeme nalézt uvedený právě jako CYP2A6. Nachází se na chromozomu SSC6 (Lin et al. 2004a), což znamená na šestém chromozomu, má 5 exonů a dosahuje délky 5,4 kb (Čítek et al. 2019). Celá rodina cytochromů P450 je hlavní skupinou řídící I. fázi metabolismu skatolu (Burkina et al. 2019).

CYP2A6, neboli CYP2A19 u prasat je jedním z nejdůležitějších enzymů mající vliv na metabolismus skatolu (Lin et al. 2004a). Jeho význam v metabolismu skatolu dokládá i výzkum, který prováděli Diaz a Squires (2000). Lze předpokládat, že pokud bychom měřili hodnoty a aktivitu CYP2A6, mohlo by se docílit nižšího výskytu 3-methyl indolu (skatolu) u prasat. Ti jedinci, kteří mají vysokou aktivitu CYP2A6, mají nízké hladiny skatolu. Oproti tomu právě nízká aktivita CYP2A6 má za následek zvýšené ukládání skatolu do tukové tkáně (Lin et al. 2004a; Chen et al. 2008). Lin et al. (2004a) zjistili delecí guaninu v nukleotidu 421, která způsobuje posun kódující oblasti a změnu její délky z původních 1485

na 612 bp. Autoři se domnívají, že tato delece má vliv na inaktivaci CYP2A6, což právě způsobuje zvýšené ukládání skatolu.

CYP2E1

Další gen, který má velmi významný vliv na metabolismus skatolu v játrech je cytochrom P4502E1 (CYP2E1). CYP2E1 se nachází na chromosomu SSC14, má 10 exonů a velikost 12,44 kb (Skinner et al. 2005; Čítek et al. 2019). CYP2E1 je zodpovědný za spuštění prvního kroku rozkladu skatolu v játrech (Robic et al. 2008). Na jaterní aktivitě CYP2E1 velmi závisí obsah skatolu a jeho metabolitů v tukové tkáni prasat (Squires & Lundström 1997). Z toho vyplývá, že čím je exprese CYP2E1 větší, tím je nižší koncentrace skatolu v tukové tkáni (Lin et al. 2006). Skinner et al. (2005) při svém zkoumání dánské populace prasat objevil SNP v oblasti promotoru CYP2E1, které velmi pravděpodobně souvisí s ukládáním skatolu. Nebyly však nalezeny žádné QTL pro skatol v této oblasti (Robic et al. 2008). Robic et al. (2008) si z tohoto důvodu myslí, že tato mutace pravděpodobně není hlavním faktorem v tvorbě kančího pachu. Dva faktory mají vliv na aktivitu promotoru CYP2E1. Jsou jimi COUP-TF1 a HNF-1 α . Prostřednictvím blokace vazby HNF-1 α na promotor může androstenon snížit aktivitu promotoru. Tyto znalosti mohou být vysvětlením jak pro potlačení projevu CYP2E1 v izolovaných jaterních buňkách prasat, tak pro pozorovanou expresi CYP2E1 u zvířat s vysokou hladinou androstenonu *in vivo*, která byla nízká. Efektivní koncentrace androstenonu v játrech ale známá není (Tambyrajah et al. 2004). Lin et al. (2006) popsali substituci G→A (guanin→adenin) v nukleotidu 1423, která má za následek záměnu aminokyseliny alaninu (Ala475) za thyrozin (Thr475). Tato mutace velmi snižuje expresi genu CYP2E1. Po vyhodnocení můžeme dojít k závěru, že právě tato substituce může alespoň částečně zodpovídat za vysoké hladiny skatolu. CYP2E1 ovlivňuje jak metabolismus skatolu, tak i metabolismus indolu (Čítek et al. 2019). Mörlein et al. (2012) zkoumal vliv SNP g.2412 C>T (cytosin > thymin) v 586 ATG u dvou užitkových populací kříženců plemene D chovaných na různých farmách. Frekvence jednotlivých genotypů byla CC (25%), CT (52%) a TT (23 %). Genotyp CC měl výrazně vyšší hladiny skatolu, než měly genotypy CT a TT.

CYB5

Tento gen byl již dříve popsán, jako jeden z genů, ovlivňujících syntézu androstenonu. Avšak jeho vliv na výskyt androstenonu v tuku je malý (Zadinová et al. 2016; Čítek et al. 2019). Wiercinska et al. (2012) zkoumali vliv CYB5 na metabolismus skatolu. Ve své studii uvádějí, že CYB5 může působit i na jiné isoformy cytochromu P450, než je CYP17. Může na ně působit inhibičně nebo stimulačně a tímto způsobem může ovlivňovat průběh metabolismu skatolu. Jejich zjištění také vypovídá o tom, že vliv CYB5 není úplně průkazný. Za to je však velmi specifický pro jednotlivé geny a jeho vliv na tyto geny (zejména CYP2A19, CYP2E1 a CYP2C49) by se mohl využít k regulaci hladiny skatolu.

4.3.1.5 Geny ovlivňující II. fázi metabolismu skatolu

4.3.1.5.1 Sulfotransferázy

SULT1A1

Gen SULT1A1 se u prasat nachází na chromosomu SSC3 (Lin et al. 2004b). Konkrétně mezi markery SW72 a SW2527. Má 6 exonů a velikost cca 4 kb (Čítek et al. 2019).

SULT1A1 je hlavním genem pro II. fázi metabolismu skatolu (Babol et al. 1998b). Babol et al. (1998a) uvádí, že mezi hladinami fenolsulfotransferázy a akumulací skatolu v tukové tkáni prasat existuje negativní korelace. Lin et al. (2004b) izolovali jaterní SULT1A1 u 69 kanců z různých chovů (LW, D, L, PN, a dihybridi L x D, LW x D a LW x PN). Popsali substituci (A → G) v nukleotidu 546 v kódující oblasti genu. To vede ke změně lysinu (Lys147) na glutamin (Glu147), což způsobuje významný pokles aktivity SULT1A1. Tato genetická mutace možná alespoň částečně snižuje katalytickou aktivitu SULT1A1. To opět vede ke zvýšenému výskytu skatolu v tuku. SULT1A1 se nachází na chromosomu SSC3, jak uvádí Lin et al. (2004b). Varona et al. (2005) nebyli schopni ho v této oblasti identifikovat u populace prasat Landrace, kterou zkoumali. Je tedy nutné provést další studie a zohlednit i plemeno či hybridní kombinaci prasat, protože se v prvním případě jednalo o plemena LW, D, PN, L a též o křížence L x D, LW x D a LW x PN, ve druhém případě o čistokrevné jedince plemene L (Čítek et al. 2019). Skinner et al. (2006) chtěli tuto zjištění ověřit. Ke studiu si vybrali křížence LW x Meishan a také dánskou populaci prasat (L, LW, D). Ovšem výše zmíněné mutace se jim nalézt nepodařilo. SULT1A1 byl identifikován jako kandidátní gen pro indolové sloučeniny (Gregersen et al. 2012).

4.3.1.6 Vzájemný vztah mezi geny pro androstenon a skatol

Podle Babol et al. (1999) se během puberty zvyšuje hladina skatolu v tukové tkáni kanců. Ta koreluje s hladinou androstenonu. Některé geny mohou působit na hladiny skatolu i androstenonu zároveň. Wiercinska et al. (2012) popisuje vliv CYB5 na geny rodiny P450 a ty poté působí na koncentrace skatolu. Doran et al. (2004) zase říká, že rozdílná exprese HSD3B může být faktorem, který ovlivňuje rychlost metabolismu androstenonu. Tím dochází ke snížení aktivity CYP2E1 a zvýšení hladiny skatolu v tuku prasat. Tambyrajah et al. (2004) uvádí, že vysoké hladiny androstenonu, zejména pak u pubertálních kanců, mohou zablokovat vazbu faktorů (COUP-TF1 a HNF1 α), které ovlivňují aktivitu promotoru CYP2E1 a tím sníží jeho expresi v játrech, což následně ovlivní metabolismus skatolu.

Gen CYB5A hraje u prasat roli v syntéze androstenonu, ale zároveň má vliv i na metabolismus skatolu (Bai et al. 2015). Bai et al. (2015) se také zabývali rozdílnou expresí tohoto genu u čínských a evropských prasat. Zjistili, že exprese CYB5A je u čínských prasat vyšší než u prasat evropských. Některé geny mohou působit i vzájemně na sebe. Z toho vyplývá, že kančí pach, tedy i jeho složky androstenon a skatol, jsou ovlivněny větším množstvím genů, které na sebe vzájemně působí (Čítek et al. 2019).

4.3.2 Pohlaví

I u vepříků nebo prasniček můžeme nalézt kančí pach. U těchto dvou kategorií je v kančím pachu naprosto převládající složkou skatol. Hladiny skatolu jsou u vepříků a prasniček ale výrazně nižší oproti hladinám skatolu u kanečků (Čítek et al. 2019). Jeremiah et al. (1999) to dokládají ve své studii. V testu přesáhlo prahové hodnoty skatolu 20 % kanečků. U vepříků a prasniček to bylo 2,5 % resp. 1,8 % jedinců. Hlavním důvodem je funkční enzymatický systém v játrech, který skatol rozkládá. U kanečků je tento enzymatický systém blokován vysokou hladinou androstenonu, a tím je zapříčiněno zvýšené ukládání nerozloženého skatolu do tuku (Čítek et al. 2019).

4.3.3 Hmotnost a věk

S věkem zvířat roste i jejich živá hmotnost. Proto se některé studie soustředily na sledování souvislostí mezi různými hmotnostmi a výskytem kančího pachu a jeho jednotlivých složek. Podle jejich výsledků můžeme konstatovat, že je důležité stanovit věk a porážkovou hmotnost tak, aby se u nich v době porážky vyskytovalo co nejméně nežádoucích látek. Při dodržení těchto podmínek může být úspěšně realizován i výkrm kanečků (Aluwé et al. 2011). Avšak musí se také přihlídnout ke genotypu vykrmovaných zvířat, protože u různých genotypů se věk a hmotnost při kterých koncentrace skatolu překračuje hraniční meze liší (Zamaratskaia & Squires 2008).

Podle Aldal et al. (2005) se hladiny skatolu v tuku u mladých kanců navyšují přibližně ve 110. dnu věku. Dále také uvádí, že pokud snížíme porážkovou hmotnost na 75 kg, nezaručíme si produkci masa bez kančího pachu. Aldal et al. (2005) přidává i poznatek, že existuje korelace mezi živou hmotností a hmotností varlat. Těžší kanečci mají těžší varlata a i tvorba a koncentrace skatolu jsou vyšší.

Pokud se podíváme na množství skatolu v mase a tuku, tak podle Parunović et al. (2010) se v 1 kg JUT běžně vyskytuje 0,20 - 0,25 mg skatolu. Ve výsledcích své studie uvádějí, že u 53 % prasat s JUT do 70 kg byla koncentrace skatolu do 20 mg/kg tuku a u 73 % to bylo do 25 mg/kg. U skupiny prasat s hmotností JUT nad 70 kg byl podíl prasat s koncentrací skatolu nad 20 mg/kg 80 % a u hranice 25 mg/kg to bylo 66 %. Obecně můžeme říct, že těžší kanci mají větší koncentraci skatolu ve vepřovém mase a tuku. Snižování porážkové hmotnosti a tím i věku se jeví jako potenciálně

vhodné a funkční řešení vedoucí k eliminaci skatolu v tukové tkáni prasat. Ještě je potřebné zmínit, že věk ale hraje větší roli v množství kančího pachu nežli hmotnost (Kouřimská et al. 2018; Čítek et al. 2019; Pokorná et al. 2022).

4.3.4 Výživa a krmení

4.3.4.1 Vliv dostupnosti tryptofanu ve střevě

Nejzásadnějším faktorem, který ovlivňuje tvorbu skatolu v trávicím traktu (GIT) je dostupnost tryptofanu v GIT, neboť je jeho degradačním produktem. Dostupnost tryptofanu závisí jednak na proteolytické aktivitě střevní mikroflóry a dále závisí na množství bílkovin vstupujících do tlustého střeva (Jensen et al. 1995). Z tohoto důvodu se hladina skatolu zvyšuje při krmení krmivem s nízkou precekální stravitelností proteinu (Wesoly & Weiler 2012). Vzhledem k tomu, že hlavním zdrojem tryptofanu je buněčný odpad výstelky tenkého střeva, je cílem tento odpad co nejvíce omezit, a to právě pomocí výživy (Čítek et al. 2019).

Množství buněčného odpadu je ovlivněno i intenzitou buněčné mitózy. Pokud je buněčná mitóza zvýšená, narůstá i množství buněčného odpadu. Při vypracování své studie Claus a Raab (1999) zjistili, že buněčná mitóza je stimulována růstovým faktorem IGF-I. Jeho exprese se navyšuje, pokud je v krmivu velké množství purinů. Právě velké množství purinů umožňuje vyšší syntézu DNA a RNA a to pak vede ke zvýšené mitóze střevních buněk. Buněčná mitóza je doprovázena zvýšenou apoptózou. Odumřelé buňky poté poskytují substrát pro tvorbu skatolu.

4.3.4.2 Vliv složení diety na mikrobiální osídlení GIT

Zkrmováním různých diet a doplňků, ovlivňujících pH v GIT, můžeme ovlivnit čínoost bakterií v GIT a tím do jisté míry i produkci a tvorbu skatolu (Wesoly & Weiler 2012). Množství produkovaného skatolu a indolu se liší podle hodnot pH, protože na hodnotě pH závisí mikrobiální aktivita v tlustém střevě. Produkce skatolu je vyšší při nižších hodnotách pH. Bakterie produkující skatol vykazují nejvyšší aktivitu přibližně při hodnotě pH 6,5. Při hodnotě pH 8 už aktivita těchto bakterií výrazně klesá, tudíž klesá i produkce skatolu. Toto pH naopak vyhovuje bakteriím, které produkují indol. Proto je produkce indolu největší při pH okolo hodnoty 8. S klesajícím pH jeho tvorba klesá (Jensen et al. 1995). Největší bakteriální populace je ve slepém střevě. Méně bakterií je pak v tenkém střevě a rektu (Yang et al. 2019). V GIT lze pH ovlivňovat pomocí antibiotik, organických kyselin, vybraných rostlinných extraktů a krmiv bohatých na fermentovatelné sacharidy (Wesoly & Weiler, 2012).

Zkrmování antibiotik je logickou úvahou, avšak o jejich podávání prasatům je možno uvažovat pouze na experimentální úrovni, jelikož používání těchto látek bylo v lednu

2006 v Evropské unii zakázáno vzhledem k rostoucímu počtu resistencí napříč jednotlivými kmeny bakterií. Je tedy pro praktické účely nevyužitelné (Čítek et al. 2019).

Organické kyseliny mají vliv na bakteriální populaci v trávicím traktu prasat (Overland et al. 2000). Overland et al. (2008) zkoumali vliv přidavku různých organických kyselin do krmné dávky na tvorbu skatolu a indolu. Prasatům zkrmovali kyselinu mravenčí, kyselinu benzoovou, sorbovou a kyselinu máselnou. Zjistili, že ani jedna tato kyselina nemá vliv na množství skatolu, indolu nebo organických kyselin v trávicím traktu. Přídavek kyseliny mravenčí, benzoové a sorbové do krmné dávky snížil mikrobiální osazení GIT, ale vliv na produkci skatolu v tlustém střevě to nemělo.

Hodnotu pH v trávicím traktu je možné změnit zkrmováním fermentovatelných oligosacharidů a polysacharidů. Typ a množství sacharidů, vstupujících do trávicího traktu, může zásadně ovlivňovat metabolismus dusíku, ale i syntézu skatolu a indolu (Hawe et al. 1992). Konkrétně fruktooligosacharidy (FOS) obsahují sacharidy, které trávicí enzymy nacházející se v přední části GIT netráví. To znamená, že se do tlustého střeva dostávají neporušené. Slouží tak jako živiny pro některé populace bakterií. Právě FOS podporují činnost a růst bakterií rodu *Bifidobacterium* a naopak potlačují růst bakterií, které se podílejí na vzniku indolu a skatolu. To znamená rodu *E. coli* a *Clostridium* (Roberfroid et al. 1998). Byla provedena studie v podmínkách *in vitro*, aby se prozkoumaly účinky fruktooligosacharidů. Výsledky naznačují, že snížená koncentrace skatolu, pozorovaná v přítomnosti FOSů, může být způsobena sníženou degradací tryptofanu v důsledku zvýšené potřeby aminokyselin při syntéze bakteriálního buněčného proteinu a posunutím mikrobiálního metabolismu tryptofanu směrem k produkci indolu na úkor skatolu, což může být důsledkem změněného mikrobiálního ekosystému a pH (Xu et al. 2002). I Liu et al. (2021) testovali vliv zkrmování sójových oligosacharidů. Potvrzují pozitivní účinky, protože se velmi snížil počet bakterií *E. coli*. Díky této změně můžeme očekávat pokles tvorby skatolu.

Další možností ve využití polysacharidů je zkrmování inulinu. Inulin je polysacharid, který u některých rostlin plní zásobní funkci. Inulin je složen z molekuly glukózy a řady molekul fruktózy. Je nerozložitelný a proto prochází žaludkem nestrávený až k bakteriím v tlustém střevě. (Čepl 1997). Inulin má probiotickou funkci a je schopný měnit gastrointestinální mikroflóru (Wang et al. 2022).

4.3.4.3 Vliv diety na enzymatický systém ovlivňující metabolismus skatolu v játrech

Hodně se diskutuje o možnosti vlivu diety na činnost cytochromů v souvislosti s expresí cytochromových genů. To přímo souvisí s aktivitou enzymů, které hrají svoji roli při metabolismu skatolu a androstenonu. Konkrétně jde o cytochrom P450 s jeho skupinou proteinů, které mají jako enzymy zásadní vliv v bioaktivaci a detoxikaci organismu od látek xenobiotického původu (Guengerich 2008).

Metabolizmus těchto látek se skládá ze tří fází. V první fázi dochází k polarizaci molekuly, kdy je odkryta polární skupina. To se děje pomocí oxidace, redukce nebo hydrolýzy. Ve druhé fázi dochází ke konjugaci molekuly z první fáze s molekulou endogenního původu. Tím dojde k výraznému zvýšení rozpustnosti ve vodě a snazšímu vyloučení nežádoucích látek močí. Následuje transmembránový přenos z vnitřního prostředí buňky do prostředí vnějšího. To se označuje jako fáze třetí (Guengerich 2007).

Aby mohl organismus reagovat na působení xenobiotických látek odpovídajícím způsobem, musí umět určitým způsobem regulovat chemickou přeměnu těchto látek. V tomto případě tak činí pomocí změny exprese genů pro biotransformační enzymy transkripce. Zde jsou pak zapojeny receptory, které fungují jako transkripční faktory a zároveň jsou aktivovány svými ligandy (Urquhart et al. 2007). Těchto receptorů je velké množství, ale jen tři byly prozatím studovány v souvislosti s kančím pachem. Mezi ně patří hydrocarbon receptor (AhR), konstitutivní androstane receptor (CAR) a pregnane X receptor (PXR) (Rasmussen et al. 2016). Každý receptor pak reguluje jiné rodiny (např. CYP1) a podrodiny (např. CYP1A) CYP450. Mezi převládající izoformy cytochromu P450 v játrech prasat patří CYP2A a CYP2D, které zahrnují cca 60 % proteinů CYP450. Druhou nejpočetnější skupinou jsou CYP2C a CYP3A (Achour et al. 2011). Největší vliv na metabolismus skatolu mají CYP1A2, 2A a 2E1, které jsou aktivní v 1. fázi metabolismu skatolu. Aktivita jejich enzymů má zásadní vliv na akumulaci skatolu v tukové tkáni. Čím je nižší aktivita cytochromů, tím dochází k vyšší akumulaci (Diaz & Squires 2000).

4.3.4.4 Vliv techniky krmení

Bylo zpracováno několik studií, které měli za cíl objasnit vliv techniky krmení. Výsledky ukazovaly, že tekuté nebo tekuté zkvašené krmivo působí redukčně na tvorbu a koncentraci skatolu v mase a tuku (Jensen 1998). Nakonec se ale v novějších studiích neprokázalo, že by mokré krmení mohlo být výhodnější (Hansen et al. 2000).

Tvorbu kančího pachu snižuje i vyšší obsah vlákniny v krmné dávce (Van Oeckel et al. 1997). Oproti tomu konzistence krmiva nebo příjem vody na jeho tvorbu vliv nemají. Zajímavá korelace byla nalezena v souvislosti s obsahem energie v krmivu. Skatol v tukové tkáni narůstá s vyšším obsahem energie v krmné dávce. Prokázalo se, že kanci, kteří byli krmeni ad libitum, měli vyšší koncentrace skatolu než kanci, kteří měli krmení restringované (Brooks & Pearson 1986). Honsová (2014) to potvrzuje a taktéž doporučuje využívat spíše krmení restringované.

Podle Ambrosena et al. (1993) pomůže snížit koncentraci skatolu u kanečků i hladovka 12 hodin před porážkou. Stejnou informaci přináší i Squires & Bonneau (2014), kteří doporučují vynechat krmení večer před porážkou.

4.3.4.5 Vliv prostředí

Skatol může být reabsorbován přes kůži prasat. Velká část z toho (cca 40 %) je absorbovaná přes oblast boku (Friis 1993). Silně znečištěné betonové podlahy zvyšují hladinu skatolu v kotcích. Proto riziko zpětné absorpce přes kůži je zde vyšší než u podlahy čisté či celoroštových technologií (Hansen et al. 1994). Touto problematikou se zabývalo mnoho studií. Bonneau & Lebret (2010) potvrzují, že u celoroštů je projev kančího pachu nižší oproti pevným podlahám a poloroštům. Se stejným výsledkem přišli i Dalmau et al. (2019). Zvířata na plných betonových podlahách byla špinavější a vykazovala vyšší koncentrace skatolu a indolu oproti zvířatům, která byla ustájena na celoroštových podlahách.

V létě byly zaznamenány vyšší hodnoty skatolu než v zimě (Hansen et al. 1993; Walstra et al. 1999). I Dostálová et al. (2008) uvádí, že vyšší teploty mají vliv na koncentraci skatolu a v letním období je potřeba s těmito zvýšenými koncentracemi počítat. Ale Dalmau et al. (2019) ve výsledcích své studie uvádí, že vztah mezi teplotou prostředí a tvorbou skatolu neobjevili. Nabízí se i možnost provádět ionizaci prostředí výkrmu, což také pomáhá snižovat výskyt kančího pachu (Wu et al. 1999).

Jako další faktory prostředí, které mají schopnost ovlivňovat výši skatolu, někteří autoři zmiňují možnost jeho snížení ustájením prasat dle pohlaví. Andersson et al. (1998) popisují i vliv fotoperiody, tedy prodloužení dne, kdy ovšem dochází ke zvyšování androstenonu. Hansen et al. (1995) zase uvádí sníženou teplotu prostředí.

Van Wagenberg et al. (2013) zjišťovali, jestli velikost plochy v kotci na jedno prase může mít vliv na množství kančího pachu. Jejich zjištění přináší poznatek, že čím menší prostor prase má, tím roste jeho agresivita. Pokud je plocha pro jedno prase větší než 1 m², tak agrese zvířete klesá, a to má vliv i na množství skatolu a indolu, kdy jejich množství klesá taky. Zvýšené agonistické chování a s ním spojený větší výskyt skatolu zjistili i Bünger et al. (2015).

4.3.4.6 Vliv managementu chovu

Andersson et al. (2005) vypracovávali studii, jejíž cílem bylo zjistit vliv odděleného a společného ustájení prasat ve výkrmu dle pohlaví. Jednoznačně doporučují oddělený výkrm, čímž se minimalizuje agresivita kanečků, kteří v přítomnosti prasniček dospívají dříve. To má potom za následek pozitivní vliv na snížení kančího pachu. Dalším důsledkem ranějšího dospívání kanečků je brzká produkce samčích hormonů, které negativně ovlivňují tvorbu skatolu (Stupka et al. 2013). I prasničky v přítomnosti

kanečků dospívají dříve. To sice vede k rychlejšímu růstu, ale menšímu obsahu masa v jatečně upraveném těle (Andersson et al. 2005).

4.4 Detekce skatolu

Neustále se hledají možnosti jak rychle a ekonomicky identifikovat jatečně upravená těla s nepřijatelnými úrovněmi složek kančího pachu na jatkách. Toto nabývá čím dál většího významu, protože se očekává rozšíření výkrmu kanečků. V Evropské unii není stanoven jednotný systém detekce kančího pachu na porážkových linkách. Nyní se často využívá způsobu, kdy rozžhavený kov se přikládá k tukové tkáni a následně se při jejím zahřátí uvolňuje androstenon a skatol. Poté se tyto látky sensoricky hodnotí. Nevýhoda tohoto systému je v jeho neefektivnosti, protože se zde vyskytují rozdíly mezi hodnotiteli často způsobené i jejich únavou při velkém počtu hodnocených zvířat (Čítek et al. 2019).

Existují techniky měření kančího pachu využívající nesespecifické metody. Mezi ně patří tzv. elektronické nosy a přímá hmotnostní spektrometrie (mass spectrometry). Druhá skupina měří složky kančího pachu specifickými měřicími technikami s vysokou rozlišovací schopností, kdy jsou jednotlivé substancie analyzované a kvantifikované. Sem řadíme rychlou plynovou chromatografii, spektroskopii/kolorimetrii a biosenzory (Čítek et al. 2019).

4.4.1 Chemické senzory (elektronické nosy)

Technika chemických senzorů má potenciál pro rychlou neinvazivní analýzu kvality vepřového masa (Haugen & Kvaal 1998; Blixt & Borch 1999). Nesespecifické plynné senzory jsou schopné detekovat některé složky v plynném stavu ve vztahu ke kančímu pachu. Mnohé studie o této technologii mluví jako o potenciálu pro budoucí on-line použití na porážkové lince při třídění jatečně upravených těl, které prokazují kančí pach (Berdagué & Talou 1993; Santos et al. 2004; Vestergaard et al. 2006). Senzory používané v elektronických nosech fungují na různých principech. Mezi senzory, které sledují změnu vodivosti, patří metaloxid semiconductor (MOS) a vodivé polymerní kompozity. Další senzory mohou být elektrochemické nebo optické (Guo et al. 2015; Loutfi et al. 2015; Wojnowski et al. 2017). Výsledky dokazují vysoce významné korelace ($r = 0,6 - 0,9$) mezi sensorickým hodnocením, hladinami skatolu a androstenonu a sensorickými atributy, které se týkají kančího pachu. Predikční chyba se pohybuje mezi 5 a 30 %. Používání chemických senzorů není specifické a detekuje jen hlavní těkavé složky v plynném stavu, což jsou největší nevýhody této technologie. Jestliže se složky kančího pachu mohou vyskytovat i v malých koncentracích, tyto metody jsou považované spíše za doplňkové k analytickým, či pro panelové testy (Röck et al. 2008). Pokud se nezvýší selektivita a citlivost ke složkám kančího pachu, nebudou tyto metody aplikovatelné pro jeho rychlou detekci (Čítek et al. 2019).

4.4.2 Hmotnostní spektrometrie (Mass spectrometry)

Hmotnostní spektrometrie nebo také mass spectrometry (MS) je známá technologie, která je rozšířena pro svou citlivost a stabilitu (Burgeon et al. 2021). Tato technologie je založená na přímém transferu těkavého vzorku do ionizovaného zdroje MS s následnou hmotnostní fragmentací molekul. Může se kombinovat s jinými metodami, např. pyrolýzou. Podle současných výsledků můžeme říct, že rychlost klasifikace může být spolehlivá do hraničních hodnot složek, konkrétně 1,0 µg/g pro androstenon a 0,16 µg/g pro skatol (Čítek et al. 2019).

4.4.3 Spektrofotometrie

Spektrofotometrie je nejúspěšnější metoda detekce skatolu, realizující se v Dánsku (Mortensen & Sorensen 1984). Měří hladiny skatolu a indolu a má analytickou chybu 0,04 µg/g tuku. Odebraný vzorek hřbetního tuku na porážkové lince je analyzován přístrojem na jatkách. Výsledky jsou použity pro následné třídění jatečně upravených těl (Čítek et al. 2019). Postup měření spočívá v extrakci homogenizovaného tuku v methanolu. Do extraktu se následně přidá barvicí činidlo, které zbarví extrakt do fialova. Ten se poté přelije do kyvety. Měří se propustnost světla při vlnových délkách 590 nm. Spektrofotometrie je citlivá na cholesterol, který se většinou v tukové tkáni nachází, a tak je důležité ho eliminovat extrakcí na pevné fázi (Haugen et al. 2012).

4.4.4 Rychlá plynová chromatografie

Fast gas chromatography (GC) je zdokonalená metoda klasické plynové chromatografie. Při využití této technologie může být androstenon, skatol a indol izolován a detekován během 10 vteřin. Kritickou fází této analýzy však představuje odběr vzorku. Kombinace statického odběru s rychlou plynovou chromatografií není dostatečně citlivá, aby mohla být využita k přímému měření složek kančího pachu. Spuštění rychlé plynové chromatografie může ještě snížit schopnost selektovat složky kančího pachu, protože se mohou vyskytovat v malých koncentracích a nebo mohou být z části maskované jinými těkavými látkami. Proto je nutné izolovat složky kančího pachu vhodným způsobem před GC analýzou. Poměrně efektivním způsobem se zdá být extrakce na bázi pevné složky (solidphase extraction - SPE). U kombinace SPE a rychlé GC jsou detekční limity pro skatol a androstenon 0,2 ppm, resp. 0,5 ppm. Celý proces může probíhat automaticky. Rychlá plynová chromatografie je at-line metodou, takže odebrané vzorky z jatečně upraveného těla se musí přesouvat do laboratoře (Čítek et al. 2019).

4.4.5 Plynná spektrometrie (FTIR)

Gas phase spektrometry, resp. fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) je metoda, která využívá rozlišitelnosti IR spekter složek kančího pachu. Díky tomu lze

provést jejich přímou detekci v plynné fázi. Tato detekce je velmi rychlá a mohla by být využívána jako on-line metoda. Stejně jako u jiných metod i zde je největším problémem odběr vzorků (Kauppinen et al. 2004).

4.4.6 Biosenzory

Využití hmyzu k detekci těkavých látek je stále předmětem výzkumů. Prozatím se uplatnilo při detekci drog a výbušnin. Metoda spočívá v trénování citlivosti hmyzu na určité složky pachů (Olson et al. 2003). V tomto směru se prováděl výzkum s využitím včel a vos. Wäckers et al. (2011) zjistili, že po vytrénování byly včely a vosy schopné rozpoznat indol, skatol a androstenon ve směsi v poměrech 1:1:1. To by se mohlo využívat k detekci kančího pachu at-line i on-line. Stále je však předmětem výzkumů, zda dokážou rozpoznat jednotlivé složky při selekčních úrovních.

4.5 Možnosti eliminace skatolu

4.5.1 Vytvoření vhodného prostředí

Jak bylo popsáno v kapitole 4.3.4.5 Vliv prostředí je zásadní, aby kotce ve výkrmu prasat byly čisté. Proto je dobré v chovu využívat celoroštové technologie, jak uvádí i Dalmau et al. (2019). Na celoroštovém ustájení je tvorba a výskyt skatolu mnohem menší než u starších typů ustájení, například u betonových podlah.

Tvorba skatolu se zvyšuje i při vyšších teplotách. Proto je velmi důležité dbát i na správné větrání a klimatizaci objektu. Je žádoucí udržet teplotu vzduchu do 30 °C, kdy se velmi zvyšuje koncentrace skatolu v tukové tkáni. Tento nežádoucí jev je ještě umocněn ve znečištěném prostředí (Hansen et al. 1994; Pulkrábek et al. 2005; Stupka et al. 2013).

4.5.2 Management chovu

Je prokazatelné, že je dobré výkrm prasat realizovat při odděleném pohlaví zvířat a mít tedy prasničky a kanečky ustájené samostatně. Tím snížíme koncentraci skatolu v tuku. Při společném ustájení kanečci dříve dospívají, což má negativní efekt na hladinu kančího pachu (Pulkrábek et al. 2005). Dalším opatřením, které je vhodné při výkrmu realizovat je vynechání krmení zvířat večer před porážkou (Squires & Bonneau 2014).

4.5.3 Hmotnost a věk

S věkem a hmotností prasat roste i hladina kančího pachu v tukové tkáni. Během období puberty dochází k nárůstu hladiny androstenonu. Hladina androstenonu je v pozitivní korelaci s hladinou skatolu. Věk nebo hmotnost při ukončení výkrmu jsou výrazným

faktorem ovlivňující výskyt skatolu (Zamaratskaia et al. 2004). Čítek et al. (2019) dělali studii zaměřenou na výskyt kančího pachu u kanců rozdílného věku a rozdílné hmotnosti. Byla prováděna sensorická analýza vepřového masa, která potvrdila nárůst intenzity kančího pachu a chuti spojené s nepříjemným vjemem u starších (135 dní) a těžších kanců (115-120 kg) oproti mladším (121 dní) a lehčím kancům (80 kg). V rámci této studie bylo pomocí sensorické analýzy masa zjištěno, že věk má při vnímání kančího pachu vyšší roli oproti porážkové hmotnosti. Proto se zdá, že časná porážka kanců by mohla být jednoduchým a efektivním opatřením v eliminaci skatolu (Pokorná et al. 2022).

4.5.4 Selektce

Díky poznatkům moderní genetiky se nabízí selektce jako možnost eliminace skatolu. Syntézu i metabolismus skatolu ovlivňuje mnoho genů. Mezi nejvýznamnější patří CYP2E1, CYP2A6 a SULT1A1.

V této oblasti se poslední dobou výzkum zaměřuje na jednu věc. A to na identifikaci chromozomových oblastí, kandidátních genů a mutací (SNP – single nucleotide polymorphism), asociovaných s hladinami androstenonu a skatolu u komerčních populací prasat. Identifikace vhodných SNP, způsobujících kančí pach, by mohla urychlit jeho odstranění v rámci šlechtitelské práce v chovech, a tak eliminovat potřebu kastrace kanečků (Duijvesteijn et al. 2010).

Skatol má střední až vysokou dědivost, proto se genetická selektce jeví jako slibné řešení v redukci skatolu (Robic et al. 2008; Duarte et al. 2021). Heritabilita hladiny skatolu se pohybuje v rozmezí od 0,19 do 0,54 (Robic et al. 2008). To znamená, že v populaci prasat mají jedinci různě vysoký potenciál pro konkrétní hladiny skatolu (Oskam et al. 2010).

Rizikem při využívání genetické selektce jako opatření ke snížení skatolu může být zhoršení ukazatelů, které jsou zásadní pro úspěšnost chovu. Například reprodukční užitkovost, konverze krmiva, růstová schopnost a zmasilost jatečných těl kanců.

Jak už bylo řečeno, gen CYP2E1 hraje velmi výraznou roli v metabolismu skatolu v játrech. V této souvislosti Čítek et al. (2019) prováděli výzkum, aby zjistili vliv exprese tohoto genu na hladinu skatolu v tukové tkáni. Při pokusném výkrmu 23 hybridních kanečků bylo zjištěno, že mezi hladinou skatolu a expresí mRNA genu CYP2E1 existuje negativní korelace.

4.5.5 Imunokastrace

Imunokastrace je alternativa k chirurgické kastraci. Při imunokastraci je cílem deaktivovat testikulární funkce neutralizací hormonů hypotalamo-hypofyzárního systému. To se děje pomocí blokáce hypofyzárního luteinizačního hormonu nebo hypotalamického hormonu uvolňujícího gonadotropiny, což jsou velmi významné hormony regulující reprodukční funkci. Vakcinace zahájí přechodnou tvorbu protilátek proti GnRH, které inhibují působení endogenního GnRH (Zamaratskaia & Rasmussen 2015).

Vakcinace se provádí ve dvou dávkách. První dávka aktivuje imunitní systém a může se aplikovat nekastrovaným kanečkům od 8-9 týdne věku. Běžně se to provádí na začátku výkrmu, tedy ve 12. týdnu věku. Druhá dávka musí mít odstup minimálně 4 týdny od dávky první a musí být podána nejpozději 4-6 týdnů před porážkou. Druhá aplikace již způsobí dočasné potlačení funkce varlat. To se projeví do 14 dnů po aplikaci snížením hodnot androstenonu a skatolu. Efekt může trvat až 22 týdnů. Po druhé dávce se začíná ukládat více tuků a tak je nutné provést správné načasování, abychom mohli využít co nejvíce pozitivní růstové vlastnosti kanečků (Čandek-Potokar et al. 2017).

Stupka et al. (2017) se zabývali vlivem imunokastrace na hladiny složek kančího pachu. Výzkum probíhal u 70 prasat, kříženců (Bílé ušlechtilé x Landrase) x Duroc. Podle výsledků byly hladiny skatolu následující. Hraniční hodnotu 0,2 µg/g překročili pouze nekastrovaní kanečci. U chirurgicky kastrováných selat, imunokastrovaných selat a prasniček byla hladina skatolu téměř stejná a pohybovala se zhruba okolo hodnoty 0,05 µg/g.

Čítek et al. (2019) u imunokastrátů nepotvrdili negativní vliv druhé vakcinace na složení jatečného těla. Nejnižší zmasilost ze sledovaných skupin byla u vepříků. U kanečků byly zjištěny vysoké hladiny kančího pachu (skatolu a androstenonu), čímž se potvrdil účinek imunokastrace, protože u imunokastrátů byla hladina skatolu snížena o 71 %.

Vakcína Improvac, kterou se imunokastrace provádí je schválená ve více než 60 zemích po celém světě a v Evropské unii se komerčně používá od roku 2009 (Zamaratskaia & Rasmussen 2015).

4.5.6 Modifikace výživy, krmná aditiva

Změna krmení kanečků může přinést zlepšení v obsahu skatolu v tukové tkáni. Skatol může být výživou ovlivnitelný mnohem více než androstenon, který je zásadně ovlivňován geneticky. Už jen změna ad libitního krmení na restringované může přinést kýžený výsledek. Hovoří se i o snížení skatolu při krmení krmivem peletovaným a ne kašovitým.

Výzkumy se nyní hodně zaměřují na možnosti redukce skatolu pomocí krmných aditiv. Jak je známo, skatol vzniká pomocí bakterií z tryptofanu v trávicím traktu. Největším zdrojem tryptofanu jsou buněčné odpady sliznice tenkého střeva, které vznikají z odumřelých buněk. Právě pomocí výživy a krmných doplňků lze apoptózu buněk a buněčný odpad omezit.

V následující části práce se budu podrobněji zabývat vlivem zkrmování bramborového škrobu, sušených pivovarských kvasnic, organických kyselin, vlákniny, ječmene s vysokým obsahem amylázy, ovsa a ječmene, fermentovatelných oligo a polysacharidů a inulinu na výskyt skatolu.

Bramborový škrob zvyšuje produkci kyseliny mléčné ve střevě. Ta má tu vlastnost, že inhibuje buněčnou smrt střevních buněk. Tím omezuje tvorbu skatolu v kolonu, krevní plazmě a tuku o 10-20 % (Lösel & Claus 2005). Overland et al. (2008) uvádí, že přídavek samotné kyseliny v tukem potahované formě s Ca-butyrátem neměl žádný vliv na úroveň skatolu. Bramborový škrob je v tenkém střevě málo stravitelný. Oproti tomu zcela stravitelný je v kolonu, zejména díky bakteriální fermentaci. Bylo zjištěno, že zkrmování bramborového škrobu má na snižování hladiny skatolu v tukové tkáni podobný efekt jako má zkrmování inulinu nebo rozpustné vlákniny (Zamaratskaia et al. 2005; Pauly et al. 2008; Overland et al. 2011). Werner et al. (2020) prováděli studii, ve které testovali výkrm kanečků dvou linií se zaměřením na výskyt kančího pachu. V rámci tohoto výzkumu testovali i vliv přídavku bramborového škrobu do krmné dávky v množství 10 %. Ačkoli přídavek bramborového škrobu snížil množství kančího pachu, výsledky nejsou úplně relevantní kvůli plemenným rozdílům, které také hrají roli. Zamaratskaia et al. (2006) zjistili, že při zkrmování bramborového škrobu prasnicím docházelo ke zvýšené aktivitě jaterního cytochromu CYP2A6. Mluví tak o vlivu bramborového škrobu i na aktivitu tohoto cytochromu.

Organické kyseliny (mravenčí, benzoová) mají vliv na bakteriální populaci v trávicím traktu prasat (Overland et al. 2000; Canibe et al. 2001). Zejména pak na mikrobiální aktivitu v kolonu (Wesoly & Weiler 2012). Při hodnotách pH nižších 6 nebo naopak vyšších než 8 je produkce skatolu velmi omezená. Hodnota pH kolem 6,5 je ideální pro zvýšenou aktivitu bakterií produkujících skatol, což vede k jeho zvýšené produkci napříč různými kategoriemi prasat (Witte et al. 2000). Overland et al. (2008) vytvořili studii, kde se zabývali vlivem přídavku organických kyselin do krmné dávky na tvorbu skatolu a indolu. Přídavky do krmné dávky tvořila kyselina mravenčí, benzoová, sorbová a máselná. Zjištěním bylo, že ani jedna z těchto kyselin neovlivnila množství skatolu, indolu nebo organických kyselin v trávicím traktu kanečků. Přídavek kyseliny mravenčí a benzoové do krmné dávky snížil hladiny skatolu v plazmě oproti přídavku kyseliny sorbové. Obecně se při přidání těchto kyselin (mravenčí, benzoové a sorbové) snížilo mikrobiální osazení GIT, ale bez většího efektu na tvorbu skatolu v tlustém střevě.

Typ a množství proteinů a sacharidů v krmné dávce má vliv na metabolismus dusíku, takže i na formaci skatolu v GIT (Boyd & Lichstein 1955). Pokud krmivo obsahuje protein s nízkou stravitelností, dochází k větší produkci skatolu ve slepém střevě (Jensen et al. 1995). Needham et al. (2020) prováděli studii, kde vedle vlivu imunokastrace právě zjišťovali i vliv hladiny proteinu v krmné dávce na koncentraci skatolu. Podle jejich výsledků hladina proteinů v krmné dávce na koncentraci skatolu neměla žádný vliv. Krmiva s velkým množstvím fermentovatelných sacharidů omezují tvorbu skatolu (Jensen 2006). Některé studie uvádí redukci skatolu při krmení cukrovou řepou, protože tvrdí, že na tvorbu energie pro bakterie v tlustém střevě se využijí cukry z cukrové řepy místo proteolýzy tryptofanu spolu se zvýšenou aktivitou enzymů I. fáze degradace skatolu (Jensen et al. 1995; Knarreborg et al. 2002; Whittington et al. 2004). Další studie toto tvrzení popírají (Li et al. 2009; Rasmussen et al. 2011).

Množství vlákniny v krmné dávce má vliv na tvorbu skatolu ve slepém střevě. Pokud je krmivo chudé na vlákninu, tak se v tomto úseku střeva přeměňuje 26 % tryptofanu na skatol. Pokud je krmivo na vlákninu bohaté, tak to může být procent pouze 6 (Jensen 2006). Škrlep et al. (2015) také studovali vliv obsahu vlákniny v krmné dávce na produkci skatolu a indolu. Pro studii bylo vybráno 24 imunokastrovaných kanečků. Ti byli rozděleni do 3 skupin a krmeni 3 dietami, které se lišily v obsahu energie a vlákniny. Zastoupení vlákniny v dietách bylo 34, 60 a 80 g/kg sušiny. Na začátku experimentu bylo prasatům 84 dní a na konci, kdy šla na porážku, byla ve věku 172 dní. Koncentrace skatolu a indolu byly stanoveny ve vzorcích odebraných z tlustého střeva. Snížení energie v krmné dávce za současného zvýšení obsahu vlákniny vedlo ke snížení produkce indolu. Produkce skatolu nebyla nijak ovlivněna. Celkově tedy vyšší zastoupení vlákniny v krmné dávce mělo pozitivní vliv na hladiny složek kančího pachu, i když přímý vliv na tvorbu skatolu se nepotvrdil.

Ječmen s vysokým obsahem amylázy (*Hodreum vulgare*) má nižší stravitelnost v tenkém střevě právě kvůli vyššímu obsahu amylázy. Tím je poté stravitelnější v kolonu a díky bakteriálnímu osídlení to vede k nižší produkci skatolu v plazmě (Chen et al. 2009).

Oves a ječmen obsahují vysoké hladiny β -D-glukanů. Mají ale odlišnou strukturu. β -glukany ovsa mají vyšší podíl β -(1-4) vazeb, nežli β -(1-3), tedy β -glukany ječmene. To je důvod, proč jsou hůře stravitelné (Duss & Nyberg 2004). Zkrmování ječmene má za následek vyšší obsah těkavých mastných kyselin v kolonu, vyšší obsah kyseliny máselné a tím pádem i nižší pH. Zkrmování ovesné diety mělo pozitivní vliv na střevní mikroflóru, protože oproti ječné dietě podporovalo růst prospěšných bakterií rodu *Bifidobacterium* a *Lactobacillus*. Lze předpokládat, že díky vyššímu obsahu nerozpustných β -glukanů v ovesné dietě došlo k jejich nestrávení a neporušené přešly do tlustého střeva, kde působily jako prebiotikum stimulující růst bakterií (Pauly et al. 2011). Glamoclija et al. (2017) tvrdí, že i vyšší zastoupení žita v krmné dávce by mohlo mít vliv na koncentrace složek kančího pachu.

Sušené pivovarské kvasnice oproti předchozím krmivům obsahují puriny. Ty umožňují vyšší syntézu DNA a RNA, čímž se zvyšuje buněčná mitóza a následně množství buněčného odpadu střevních buněk (Claus & Raab 1999). To má negativní vliv na úroveň skatolu. Z tohoto důvodu není doporučeno sušené pivovarské kvasnice kanečkům zkrmovat.

Fermentovatelné oligosacharidy a polysacharidy mají významný potenciál pro snížení hladin skatolu. Jejich prostřednictvím lze měnit intraluminální pH v kolonu. Mění se tím mikrobiální metabolismus od proteolytického k sacharolytickému (Wesoly & Weiler 2012), čímž klesá tvorba skatolu a jeho retence v adipozním tuku. Konkrétně se jedná o fruktooligosacharidy (FOS) a inulín (Čítek et al. 2019).

FOS jsou zdrojem sacharidů, které nejsou tráveny pomocí trávicích enzymů v přední části GIT. Díky tomu přicházejí do kolonu v neporušeném stavu a slouží tak jako živiny pro populace bakterií, jako *Bifidobacterium*, které inhibují rody *E. Coli* a *Clostridium*, produkujících indol a skatol (Roberfroid et al. 1998). Je to velmi obdobný efekt jako u nerozpustných β -glukanů obsažených v ovesné dietě.

Dalším sacharidem s příznivými účinky je inulín. Je to polysacharid, který u čeledi *Astraceae* a *Campalunaceae* nahrazuje škrob jako zásobní látku. Živočišný organismus není schopný ho využít, protože je amylázou neštěpitelný. Bakterie trávicího traktu ho však štěpit umí a je pro ně zdrojem energie. V organismu pak plní funkci jako rozpustná vláknina, to znamená, že působí jako prebiotikum a může měnit mikroflóru trávicího traktu (Wang et al. 2022). Zdrojem inulínu je například slunečnice topinambur a kořen čekanky. Zkrmování inulínu v různých formách významně snižuje obsah skatolu ve výkalech, krvi a tuku (Hansen et al. 2006; Byrne et al. 2008). Někteří autoři hovoří o tom, že došlo ke snížení skatolu až na hodnoty podobné jako u kastrováných jedinců (Kjos et al. 2010; Overland et al. 2011; Zammerini et al. 2012). V kombinaci s bikarbonátem pak dochází ke snížení koncentrace skatolu v tkáni o 50-75 % (Hansen et al. 2006).

Jednou z nejvíce zkoumaných rostlin, která se zkrmuje prasatům s potenciálem na snížení výskytu skatolu, je čekanka obecná (*Cichorium intybus* L). Rasmussen et al. (2011) vytvořili studii ve které zkoumali vliv čekanky na činnost mikrosomů u prasat. Prasata byla 16 dní před porážkou krmena dietou, která obsahovala 10 % sušených kořenů čekanky. Expresse CYP1A2 byla u prasat krměných kořenem čekanky vyšší o 79 % a u CYP2A to bylo o 20 %. U exprese CYP2E1 nebyly nalezeny žádné rozdíly mezi jednotlivými kontrolními skupinami. U všech cytochromů významných pro metabolismus skatolu v játrech byla zvýšená exprese jejich mRNA. Velký vliv na tyto exprese mají purifikované sekundární metabolity čekanky, jako artemisinin, skoparon, lactucin, esculetin, esculin, jež tyto exprese zvyšují, kromě esculinu. Z tohoto důvodu může mít celkový extrakt čekanky různé účinky. Zammerini et al. (2012), Maribo et al. (2013) a Li et al. (2019) pak také prokázali pozitivní vliv zkrmování kořene čekanky na snižování koncentrací skatolu v tuku. I Aluwé et al. (2017) potvrzují

významné snížení koncentrací skatolu v hřbetním tuku po přidání 5 % inulinu z čekanky do krmné dávky prasat.

Studie, které se zabývaly vlivem bylin a přírodních látek na činnost cytochromů, se dále zajímaly o vliv těchto látek na xenobiotické receptory (AhR, CAR, PXR). V jedné ze studií byla zjišťována potenciální indukce CYP mRNA pomocí aktivace xenobiotických receptorů sekundárními metabolity. Poté bylo provedeno pozorování, jaké účinky budou mít jednotlivé sekundární metabolity této rostliny v porovnání s celkovým výtažkem jejích kořenů na expresi jaterní CYP mRNA v primárních jaterních hepatocytech. Ze sekundárních metabolitů byly testovány artemisinin, scoparon, lactucin, esculetin a esculin. Artemisinin významně zvýšil expresi mRNA u CYP1A2, 2C33, 2D25 a 3A29, což dokazuje, že současně aktivuje AhR, CAR i PXR. Scoparone zvýšil expresi mRNA u CYP1A2 a 2D25, došlo tedy k aktivaci jak AhR, tak CAR. Lactucin zvyšoval expresi u mRNA CYP2A19, 2D25 a 2E1, přičemž exprese těchto cytochromů je kontrolována CAR. Z testů dále vyplynulo, že esculetin zvýšil expresi mRNA u CYP1A2, proto může mít vliv na aktivaci AhR. Esculin, který je metabolitem esculetinu, nevykázal žádný účinek. Celkový extrakt z kořene čekanky snížil expresi určitých cytochromů ve vysokých koncentracích. Výsledky naznačují, že purifikované sekundární metabolity z čekanky ovlivňují expresi CYP, tím detoxikaci obecně, zatímco celkový extrakt rostliny může mít účinky odlišné od jednotlivých složek (Rasmussen et al. 2014).

Mezi krmná aditiva pro prasata můžeme zařadit i slunečnici topinambur. Avšak topinambur neboli také jeruzalémský artyčok, je výrazně dražší než čekanka. Snížení skatolu souvisí se změnou mikrobiálního ekosystému na úkor *Clostridium perfringens*, vyšším obsahem mastných kyselin s krátkým řetězcem a následným poklesem pH (Vhile et al. 2012). Topinambur obsahuje v listech a květech i bioaktivní látky (flavonoidy, fenolové kyseliny, terpenoidy, polysacharidy, aminokyseliny). Ty vykazují antibakteriální, protizánětlivé, antioxidační a protinádorové funkce (Kaszás et al. 2020). Lze říct, že přidavek sušeného topinamburu do krmné dávky 1 týden před porážkou vede ke snížení hladin skatolu v tlustém střevě a tukové tkáni (Vhile et al. 2012). Redukci skatolu způsobují přidané inulinové fruktanty v topinamburu, protože zamezují růstu bakterií rodu *Clostridium*, jež jsou hlavním producentem skatolu (Čítek et al. 2019).

Okrouhlá et al. (2020) se zabývali vlivem přídavku slunečnice topinambur na ovlivnění nejen hladiny skatolu v tuku, ale i na změnu mikroflóry trávicího traktu.

Studie probíhala na 47 zvířatech, která byla rozdělena do čtyř skupin. Každá skupina dostávala jiné množství topinamburu jako přídavku v krmné dávce. Jedna skupina byla kontrolní, tedy s nulovým přídavkem topinamburu. Ostatní dostávali 4,1; 8,1 a 12,2 % topinamburu v krmivu. Krmení takto probíhalo 13 dní před porážkou. Nejvyšší výskyt skatolu byl u kontrolní skupiny bez přídavku topinamburu, konkrétně 0,148 µg/g. Více než pětkrát nižší hladina byla u skupiny, která měla v krmné dávce 8,1 % topinamburu

(0,027 µg/g). Přídavek topinamburu tedy průkazně snížil hladinu skatolu. Podle výsledků studie je tedy dieta s 8,1 % přídavkem topinamburu dostačující pro snížení hladiny skatolu na hodnoty kastrovaných jedinců.

Při sledování počtu mikroorganismů ve výkalech byl taktéž zjištěn pozitivní vliv zkrmování topinamburu. Nejvyšší přídavek (12,2 %) nejvíce snížil zastoupení *Escherichia coli*. U všech skupin s přídavkem topinamburu byl ale pozorován pozitivní efekt, kdy zastoupení bifidobakterií a laktobacilů bylo vyšší, a naopak *Escherichia coli* bylo méně (Okrouhlá et al. 2020). Existuje pozitivní korelace mezi počtem *E. coli* a hladinami skatolu v tukové tkáni. *E. coli* jsou zodpovědné za přeměnu kyseliny indolctové na skatol. Z toho vyplývá, že přídavkem topinamburu (inulinu) lze podpořit některé sacharolytické bakterie na úkor proteolytických (Čítek et al. 2019).

Nedávno několik studií odhalilo, že hydrolyzovatelné taniny ve výživě prasat mají potenciál snížit akumulaci skatolu v tukové tkáni. Jedná se o látky hojně se vyskytující v kůře, plodech, listech a kořenech rostlin čeledi bukovitých, růžovitých, bobovitých, vrbovitých apod. Vyšší dávky (2-4 %) extraktu z kaštanu, který obsahuje hydrolyzovatelné třísloviny, měly tendenci snižovat koncentraci skatolu v tukové tkáni (Bahelka et al. 2021).

Kromě výše vyjmenovaných krmných doplňků se experimentálně ve výrobních podmínkách zkoušely i další plodiny. Kouba et al. (2003) uvádí, že zkrmování lněného semínka mělo pozitivní vliv na redukcii akumulace skatolu v tukové tkáni. Maribo et al. (2013) prováděli studii zaměřenou na výkrm kanečků v užitkových chovech. Zkrmovali kanečkům 4-8 dní před porážkou tzv. čisté zrno. To jsou obilné pelety složené z 50 % pšenice a 50 % ječmene s přídavkem tuku, vitaminů a minerálů. Byli schopni pomocí této směsi zredukovat hladinu skatolu až o 25 %.

Ze všech těchto informací lze odvodit, že můžeme předejít akumulaci skatolu v tukové tkáni kanečků dodržováním určitých krmných strategií. Dosáhnout toho lze například tím, že omezíme apoptózu střevních buněk, čímž se sníží množství tryptofanu ze kterého by mohl být syntetizován skatol. Další možností je ovlivnění bakteriálního ekosystému. Konkrétně tím, že poskytneme mikroorganismům energii zkrmováním fruktooligosacharidů. Jejich zařazením do krmné dávky lze do jisté míry posunout i pH GIT k hodnotě cca 8, kdy GIT osídlují zejména bakterie *Bifidobacterium* spp., které se nepodílejí na tvorbě skatolu. Dále je možné dietou posunout metabolismus GIT od proteolytického k sacharolytickému, jelikož množství a typ proteinů a sacharidů, které dieta obsahuje, má důležitý vliv na metabolismus dusíku. Jako poslední bod, který je dobré mít na paměti je to, že lze úspěšně eliminovat skatol zvýšením exprese proteinů, podílejících se na jeho metabolismu jak vlákninou, inulinem, bramborovým škrobem, tak nově testovanými sekundárními metabolity čekanky (např. esculin, scoparon, lactucin) (Čítek et al. 2019).

Studií, které se zabývají tímto tématem, však stále není mnoho. Je nutné odhalit přesné mechanismy působení těchto látek. V budoucnu by se právě tyto látky mohly využívat ve výživě pro eliminaci kančího pachu, pokud by byly zastoupeny ve správných koncentracích, poměrech a délce zkrmování, aby byl jejich účinek dostačující.

5 Závěr

Vepřové maso je nejkonzumovanějším masem v České republice. Každý občan ročně spotřebuje přibližně 43 kg vepřového masa. Je žádoucí produkovat maso kvalitní, to znamená i s minimálním obsahem kančího pachu, potažmo skatolu.

Cílem bakalářské práce bylo sepsat literární rešerši týkající se problematiky výskytu a nových možností eliminace skatolu ve vepřovém mase. Jak již bylo zmíněno, chov prasat v Evropě čelí nové výzvě, s níž se musí vypořádat. Neustále stoupající tlak na dodržování vyšší standardů welfare v chovech zvířat vyúsťuje v tendence omezení či úplného zákazu běžně používané chirurgické kastrace, která slouží jako poměrně snadný způsob k eliminaci kančího pachu ve vepřovém mase. Nezbyvá tedy nic jiného, než hledat nové způsoby a alternativy.

Opatření uváděné v této práci bychom mohli shrnout do několika kategorií. První kategorií jsou opatření zootechnická, která dbají na vliv prostředí na tvorbu skatolu a také souvisí s managementem chovu, kde má také svůj vliv věk a živá hmotnost před porážkou. V dnešní době má významný vliv a velký potenciál oblast genetiky. Zde je možné kančí pach omezovat cíleným šlechtěním a využitím selekce. Poslední výzkumy se také zaměřují na využití různých krmných doplňků ve výživě prasat. Těch je celá řada a jsou v této práci také popsány. Poměrně dobrých úspěchů se dosáhlo se zkrmováním kořene čekanky. Naopak naprosto nevhodné je zkrmování pivovarských kvasnic.

6 Literatura

Achour B, Barber J, Rostami-Hodjegan A. 2011. Cytochrome P450 Pig Liver Pie: Determination of Individual Cytochrome P450 Isoform Contents in Microsomes from Two Pig Livers Using Liquid Chromatography in Conjunction with Mass Spectrometry. *Drug Metabolism and Disposition* **39**:2130-2134.

Aldal I, Andresen Ø, Egeli AK, Haugen JE, Grødum A, Fjetland O, Eikaas JLH. 2005. Levels of androstenone and skatole and the occurrence of boar taint in fat from young boars. *Livestock Production Science* **95**:121-129.

Aluwé M, Millet S, Bekaert K, Tuyttens FAM, Vanhaecke L, De Smet S, De Brabander DL. 2011. Influence of breed and slaughter weight on boar taint prevalence in entire male pigs. *Animal* **5**:1283-1289.

Aluwé M, Heyrman E, Theis S, Sieland C, Thurman K, Millet S. 2017. Chicory fructans in pig diet reduce skatole in back fat of entire male pigs. *Research in Veterinary Science* **115**:340-344.

Ambrosen WP, et al. 1993. Application of Single Molecule Detection to DNA Sequencing and Sizing. *Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie* **97**:1535-1541.

Andersson EW, Spanos KA, Mullin TJ, Lingren D. 1998. Phenotypic selection compared to restricted combined index selection for many generations. *Silva Fennica* **32**:111-120.

Andersson HK, Andersson K, Zamaratskaia G, Rydhmer L, Chen G, Lungström K. 2005. Effect of single-sex or mixed rearing and live weight on performance, technological meat quality and sexual maturity in entire male and female pigs fed raw potato starch. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A-Animal Science* **55**:80-90.

Babol J, Squires EJ, Lundstrom K. 1998a. Relationship between oxidation and conjugation metabolism of skatole in pig liver and concentrations of skatole in fat. *Journal of Animal Science* **76**:829-838.

Babol J, Squires EJ, Lundstrom K. 1998b. Hepatic metabolism of skatole in pigs by cytochrome P4502E1. *Journal of Animal Science* **76**:822-828.

Babol J, Squires EJ, Lundstrom K. 1999. Relationship between metabolism of androstenone and skatole in intact male pigs. *Journal of Animal Science* **77**:84-92.

Bahelka I, Bučko O, Flák P. 2021. Can Hydrolysable Tannins in Diet of Entire Male Pigs Affect Carcass, Pork Quality Traits, Amino and Fatty Acid Profiles, and Boar Taint, Skatole and Androstenone Levels?. *Animals* **11**:896.

- Bai Y, Zhang JB, Xue Y, Peng YL, Chen G, Fang MY. 2015. Differential expression of CYB 5A in Chinese and European pig breeds due to genetic variations in the promoter region. *Animal genetics* **46**:16-22.
- Berdagué JL, Talou T. 1993. Examples of semiconductor gas sensors applied to meat products. *AGRIS* **13**:141-148.
- Bernardy J. 2010. Kastrace prasat jako evropské dilema. *Veterinářství* **60**:46-48.
- Blixt Y, Borch E. 1999. Using an electronic nose for determining the spoilage of vacuum-packaged beef. *International Journal of Food Microbiology* **46**:123-134.
- Bonneau M, Lebret B. 2010. Production systems and influence on eating quality of pork. *Meat science* **84**:293-300.
- Boyd WL, Lichstein HC. 1955. The effect of carbohydrates on the tryptophanase activity of bacteria. *Journal of Bacteriology* **69**:584-589.
- Brooks RI, Pearson AM. 1986. Steroid hormone pathways in the pig with special emphasis on boar odour: a review. *Journal of Animal Science* **62**:632-645.
- Bünger B, Schrader L, Schrade H, Zacharias B. 2015. Agonistic behaviour, skin lesions and activity pattern of entire male, female and castrated male finishing pigs. *Applied Animal Behaviour Science* **171**:64-68.
- Burgeon C, Debliquy M, Lahem D, Rodriguez J, Ly A, Fauconnier ML. 2021. Past, present, and future trends in boar taint detection. *Trends in Food Science & Technology* **112**:283-297.
- Burkina V, Rasmussen MK, Oliinychenko Y, Zamaratskaia G. 2019. Porcine cytochrome 2A19 and 2E1. *Basic & clinical pharmacology & toxicology* **124**:32-39.
- Byrne DV, Thamsborg SM, Hansen LL. 2008. A sensory description of boar taint and the effects of crude and dried chicory roots (*Cichorium intybus* L.) and inulin feeding in male and female pork. *Meat Science* **79**:252-269.
- Canibe N, Steien SH, Øverland M, Jensen BB. 2001. Effect of K-diformate in starter diets on acidity, microbiota, and the amount of organic acids in the digestive tract of piglets, and on gastric alterations. *Journal of Animal Science* **79**:2123-2133.
- Claus R, Raab S. 1999. Influences on Skatole Formation from Tryptophan in the Pig Colon. Pages 679-684 in Huether G, Kochen W, Simat TJ, Steinhart H, editors. *Tryptophan, Serotonin and Melatonin*. Springer, Boston.

Cook KL, Rothrock MJ, Loughrin JH, Doerner KC. 2007. Characterization of skatole-producing microbial populations in enriched swine lagoon slurry. *FEMS Microbiology Ecology* **60**:329-340.

Čandek-Potokar M, Škrlep M, Zamaratskaia G. 2017. Immunocastration as Alternative to Surgical Castration in Pigs. *Theriogenology* **6**:109-126.

Čepl J, Vacek J, Bouma J. 1997. *Metodiky pro zemědělskou praxi. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.*

Čítek J, Stupka R, Šprysl M, Bahelka I, Zadinová K. 2019. Výkrm kanečků s eliminací složek kančího pachu - skatol. *Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.*

Dalmau A, et al. 2019. Effect of environmental temperature, floor type and breed on skatole and indole concentrations in fat of females, immuno-castrated and entire males. *Livestock Science* **220**:46-51.

Deslandes B, Gariépy C, Houde A. 2001. Review of microbiological and biochemical effects of skatole on animal production. *Livestock Production Science* **71**:193-200.

Diaz GJ, Squires EJ. 2000. Metabolism of 3-methylindole by porcine liver micro-somes: responsible cytochrome P450 enzymes. *Toxicological Sciences* **55**:284–292.

Doran E, Whittington FM, Wood JD, McGivan JD. 2004. Characterisation of androstenone metabolism in pig liver microsomes. *Chemico-Biological Interactions* **147**:141–149.

Dostálová A, Koucký M, Průšová V. 2008. Výkrm kanečků v podmínkách ekologického zemědělství. *Výzkumný ústav živočišné výroby, Praha.*

Duarte DAS, Schroyen M, Mota RR, Vanderick S, Gengler N. 2021. Recent genetic advances on boar taint reduction as an alternative to castration: a review. *Journal of Applied Genetics* **62**:137-150.

Duijvesteijn N, Knol EF, Merks JWM, Crooijmans RPMA, Groenen MAM, Bovenhuis H, Harlizius B. 2010. A genome-wide association study on androstenone levels in pigs reveals a cluster of candidate genes on chromosome 6. *BMC Genetics* **11**:42.

Duss R, Nyberg L. 2004. Oat Soluble Fibers (β -Glucans) as a Source for Healthy Snack and Breakfast Foods. *Cereal Foods World* **49**:320-325.

Friis C. 1993. Distribution, metabolic fate and elimination of skatole in the pig. Measurement and prevention of boar taint in entire male pigs **60**:113–115.

- Glamoclija N, Glisic M, Boskovic M, Djordjevic J, Markovic R, Sefer D, Baltic MZ. 2017. The impact of triticale diet on production characteristics and meat quality in pigs. *Meat Technology* **58**:73-79.
- Gregersen LH, Jacobsen A, Frankel LB, Wen J, Krogh A, Lund AH. 2012. MicroRNA-143 down-regulates Hexokinase 2 in colon cancer cells. *BMC Cancer* **12**:232.
- Grindflek E, Lien S, Hamland H, Hansen MHS, Kent M, van Son M, Meuwissen THE. 2011. Large scale genome-wide association and LDLA mapping study identifies QTLs for boar taint and related sex steroids. *BMC Genomics* **12**:1-16.
- Guengerich FP. 2007. Cytochrome P450 and Chemical Toxicology. *Chemical Research in Toxicology* **21**:70-83.
- Guengerich FP. 2008. Inhibition of Drug Metabolizing Enzymes. Page 24 in Pearson PG, Wienkers LC editors. *Handbook of Drug Metabolism*. CRC Press, Boca Raton.
- Guo Z, Zine N, Lagarde F, Daligault J, Persuy MA, Pajot-Augy E, Zhang AD, Jaffrezic-Renault N. 2015. A novel platform based on immobilized histidine tagged olfactory receptors, for the amperometric detection of an odorant molecule characteristic of boar taint. *Food chemistry* **184**:1-6.
- Hansen LL, Larsen AE, Hansen-Møller J. 1995. Influence of Keeping Pigs Heavily Fouled with Faeces plus Urine on Skatole and Indole Concentration (Boar Taint) in Subcutaneous Fat. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A—Animal Science* **45**:178-185.
- Hansen LL, Larsen AE, Jensen BB, Hansen-Møller J, Barton-Gade P. 1993. Influence of stocking rate and temperature on faeces deposition in the pen and its consequences on skatole concentration in subcutaneous fat. Pages 151-157 in Bonneau M, editors. *Measurement and Prevention of Boar Taint in Entire Male Pigs*. Institut national de la recherche agronomique, Paris.
- Hansen LL, Larsen AE, Jensen BB, Hansen-Møller J, Barton-Gader P. 1994. Influence of stocking rate and faeces deposition in the pen at different temperatures on skatole concentration (boar taint) in subcutaneous fat. *Animal Production* **59**:99-110.
- Hansen LL, Mikkelsen LL, Agerhem H, Laue A, Jensen MT, Jensen BB. 2000. Effect of fermented liquid food and zinc bacitracin on microbial metabolism in the gut and sensoric profile of m. longissimus dorsi from entire male and female pigs. *Animal Science* **71**:65-80.
- Hansen LL, Mejer H, Thamsborg SM, Byrne DV, Roepstorff A, Karlsson AH, Hansen-Møller J, Jensen MT, Tuomola M. 2006. Influence of chicory roots (*Chicorium intybus* L.) on boar taint in entire male and female pigs. *Animal Science* **82**:359-368.

Haugen JE, Kvaal K. 1998. Electronic nose and artificial neural network. *Meat Science* **49**:273-286.

Haugen JE, Brunius C, Zamaratskaia G. 2012. Review of analytical methods to measure boar taint compounds in porcine adipose tissue: The need for harmonised methods. *Meat Science* **1**: 9-19.

Hawe SM, Walker N, Moss BW. 1992. The effects of dietary fibre, lactose and antibiotic on the levels of skatole and indole in faeces and subcutaneous fat in growing pigs. *Animal Science* **54**:413-419.

Honsová H. 2014. Čekají nás změny v chovu prasat. *Farmář* **4**:46-47.

Hügel T. 2010. Überprüfung der Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit der Impfung gegen Ebergeruch im Feldversuch: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit der Impfung gegen Ebergeruch [Doctoral dissertation, Imu]. Ludwig-Maximilians-Universität Tierärztliche Fakultät, München.

Chen G, Cue RA, Lungström K, Wood JD, Doran O. 2008. Regulation of CYP2A6 protein expression by skatole, indole and testicular steroids in primary cultured pig hepatocytes. *Drug Metabolism and Disposition* **36**:56-60.

Chen G, Andersson K, Andersson R, Lundström K, Zamaratskaia G. 2009. Feeding entire male pigs (*Sus scrofa domestica*) with high amylose barley cultivar (*Hordeum vulgare*): impact on boar taint and performance. Page 163-169 in Treija S, Skuja I, editors. *Research for Rural Development 2009*. Latvia University of Agriculture, Jelgava.

Jensen BB. 1998. The impact of feed additives on the microbial ecology of the gut in young pigs. *Journal of Animal Feeding Science* **7**: 45-64.

Jensen BB. 2006. Prevention of Boar Taint in Pig Production. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48**:1-4.

Jensen MT, Cox RP, Jensen BB. 1995. 3-Methylindole (skatole) and indole production by mixed populations of pig fecal bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* **61**:3180-3184.

Jeremiah LE, Squires EJ, Sather AP. 1999. Gender and diet influences on pork palatability and consumer acceptance. II. Sex taint compounds and their relationship to sensory properties. *Journal of Muscle Foods* **10**:317-331.

Kaszás L, Alshaal T, El-Ramady H, Kovács Z, Koroknai J, Elhawat N, Nagy É, Cziáky Z, Fári M, Domokos-Szabolcsy É. 2020. Identification of Bioactive Phytochemicals in Leaf Protein Concentrate of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Plants* **9**:889.

- Kauppinen J, Wilcken K, Kauppinen I, Koskinen V. 2004. High sensitivity in gas analysis with photoacoustic detection. *Microchemical Journal* **76**:151–159.
- Kjos NP, Øverland M, Fauske AK, Sørum H. 2010. Feeding chicory inulin to entire male pigs during the last period before slaughter reduces skatole in digesta and backfat. *Livestock Science* **134**:143-145.
- Knarreborg A, Beck J, Jensen MT, Laue A, Agergaard N, Jensen BB. 2002. Effect of non-starch polysaccharides on production and absorption of indolic compounds in entire male pigs. *Animal Science* **74**:445-453.
- Kouba M, Enser M, Whittington FM, Nute GR, Wood JD. 2003. Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. *Journal of Animal Science* **81**:1967–1979.
- Kouřimská L, Čítek J, Zadinová K, Okrouhlá M, Panovská Z, Khatri Y, Stupka R. 2018. Sensory Quality of Meat from Crossbred Boars in Relation to their Age and Slaughter Weight. *Czech Journal of Food Sciences* **5**:415-419.
- Lanthier F, Lou Y, Squires EJ. 2007. Skatole metabolism in the intact pre-pubescent male pig. The relationship between hepatic enzyme activity and skatole concentrations in plasma and fat. *Livestock Science* **106**:145–153.
- Lapčík O. 2008. Záván kance. *Vesmír* **97**:628-629.
- Latorre MA, Medel P, Fuentetaja A, Lázaro R. 2003. Effect of gender, terminal sire line and age at slaughter on performance, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs. *Animal Science* **77**:33-45.
- Lee GJ, Archibald AL, Law AS, Lloyd S, Wood J, Haley CS. 2005. Detection of quantitative trait loci for androstenone, skatole and boar taint in a cross between Large White and Meishan pigs. *Animal Genetics* **36**:14-22.
- Li CY, Liu JX, Wang YZ, Wu YM, Wang JK, Zhou YY. 2009. Influence of differing carbohydrate sources on l-tryptophan metabolism by porcine fecal microbiota studied in vitro. *Livestock Science* **120**:43-50.
- Li X, Jensen BB, Canibe N. 2019. The mode of action of chicory roots on skatole production in entire male pigs is neither via reducing the population of skatole-producing bacteria nor via increased butyrate production in the hindgut. *Applied and Environmental Microbiology* **85**:e02327-18.

Lin Z, Lou Y, Squires EJ. 2004a. Molecular cloning, expression and functional characterization of the cytochrome P450 2A6 gene in pig liver. *Animal Genetics* **35**:314-316.

Lin Z, Lou Y, Squires EJ, 2004b. Molecular cloning and functional analysis of porcine *SULT1A1* gene and its variant: a single mutation *SULT1A1* causes a significant decrease in sulfation activity. *Mammalian Genome* **15**:218-226.

Lin Z, Lou Y, Squires EJ. 2006. Functional polymorphism in porcine *CYP2E1* gene: Its association with skatole levels. *The Journal of Steroid Biochemistry Molecular Biology* **99**:231–237.

Liu HY, Li X, Zhu X, Dong WG, Yang GQ. 2021. Soybean oligosaccharides attenuate odour compounds in excreta by modulating the caecal microbiota in broilers. *Animal* **15**:100159.

Lösel D, Claus R. 2005. Dose-dependent effects of resistant potato starch in the diet on intestinal skatole formation and adipose tissue accumulation in the pig. *Journal of Veterinary Medicine Series A*. **52**:209–212.

Loutfi A, Coradeschi S, Mani GK, Shankar P, Rayappan JBB. 2015. Electronic noses for food quality: A review. *Journal of Food Engineering* **144**:103-111.

Malmfors B, Lundström K. 1983. Consumer reactions to boar meat: a review. *Livestock Production Science* **10**:187-196.

Maribo H, Jensen B, Møller S. 2013. Reduction of boar taint in two trials: 1. Chicory or lupins combined with slaughter weight. 2. Feeding pure grain. Page 14 in Bonneau M, editors. EAAP Working Group 2013 Production of Utilization of Meat from Entire Male Pigs. Danish Agriculture & Food Council, Denmark.

Matal J, Matuskova Z, Tunkova A, Anzenbacherova E, Anzenbacher P. 2009. Porcine *CYP2A19*, *CYP2E1* and *CYP1A2* forms are responsible for skatole biotransformation in the reconstituted system. *Neuroendocrinology Letters* **30**:36-40.

Mörlein D, Lungershausen M, Steinke K, Sharifi AR, Knorr C. 2012. A single nucleotide polymorphism in the *CYP2E1* gene promoter affects skatole content in backfat of boars of two commercial Duroc-sired crossbred populations. *Meat Science* **92**:739-744.

Mortensen AB, Sørensen SE. 1984. Relationship between boar taint and skatole determined with a new analysis method. Pages 394-396 in Bonneau M, editors. Measurement and Prevention of Boar Taint in Entire Male Pigs. Institut national de la recherche agronomique, Paris.

Needham T, Gous RM, Lambrechts H, Pieterse E, Hoffman LC. 2020. Combined effect of dietary protein, ractopamine, and immunocastration on boar taint compounds, and using testicle parameters as an indicator of success. *Foods* **9**:1665.

Okrouhlá M, Stupka R, Čítek J, Urbanová D, Vehovský K, Kouřimská L. 2016. HPLC stanovení androstenonu, skatolu a indolu ve hřbetním tuku u prasat. *Chemické listy* **110**:593-597.

Okrouhlá M, Čítek J, Švejtil R, Zadinová K, Pokorná K, Urbanová D, Stupka R. 2020. The effect of dietary *helianthus tuberosus* L. On the populations of pig faecal bacteria and the prevalence of skatole. *Animals* **10**:693.

Olson DM, Rains GC, Meiners T, Takasu T, Tertuliano M, Tumlinson JH, Wäckers FL, Lewis WJ. 2003. Parasitic wasps learn and report diverse chemicals with unique conditionable behaviors. *Chemical Senses* **28**:545–549.

Oskam IC, Lervik S, Tajet H, Dahl E, Ropstad E, Andresen O. 2010. Differences in testosterone, androsterone and skatole levels in plasma and fat between pubertal purebred Duroc and Landrace boars in response to human chorionic gonadotrophin stimulation. *Theriogenology* **74**:1088-1098.

Overland M, Granli T, Kjos NP, Fjetland O, Steien SH, Stokstad M. 2000. Effect of dietary formates on growth performance, carcass traits, sensory quality, intestinal microflora, and stomach alterations in growing–finishing pigs. *Journal of Animal Science* **78**:1875-1884.

Overland M, Kjos NP, Borg M, Skjerve E, Sørum H. 2008. Organic acids in diets for entire male pigs: Effect on skatole level, microbiota in digesta, and growth performance. *Livestock Science* **115**:169-178.

Overland M, Kjos NK, Fauske AK, Teige J, Sørum H. 2011. Easily fermentable carbohydrates reduce skatole formation in the distal intestine of entire male pigs. *Livestock Science* **140**:206-217.

Parunović N, Petrović M, Sverak VM, Parunović J. 2010. Relationship between carcass weight, skatole level and sensory assessment in fat of different boars. *Czech Journal of Food Sciences* **28**:520-530.

Pauly C, Spring P, Gahan D, O'Doherty JV. 2011. The effect of cereal type and enzyme supplementation on 72 carcass characteristics, volatile fatty acids and intestinal microflora and boar taint in entire male pigs. *Animal* **5**:378-386.

Pauly C, Spring P, O'Doherty JV, Ampuero KS, Bee G. 2008. Performances, meat quality and boar taint of castrates and entire male pigs fed a standard and a raw potato starch-enriched diet. *Animal* **2**:1707–1715.

Pokorná K, Čítek J, Doležal P, Małopolska M, Tyra M, Okrouhlá M, Zadiinová K, Šprysl M, Lebedová N, Stupka R. 2022. Changes of Androstenedione Concentrations in Saliva of Boars with Age. *Animals* **12**:157.

Pulkrábek J, et al. 2005. *Chov prasat*. Profi Press, Praha.

Ramos AM, Duijvesteijn N, Knol EF, Merks JWM, Bovenhuis H, Crooijmans RPMA, Groenen MAM, Harlizius B. 2011. The distal end of porcine chromosome 6p is involved in the regulation of skatole levels in boars. *BMC Genetics* **12**:35.

Rasmussen SGF, et al. 2011. Crystal Structure of the β 2Adrenergic Receptor-Gs protein complex. *Nature* **477**:549–555.

Rasmussen MK, Brunius C, Zamaratskaia G, Ekstrand B. 2012. Feeding dried chicory root to pigs decrease androstenedione accumulation in fat by increasing hepatic 3β hydroxysteroid dehydrogenase expression. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* **130**:90-95.

Rasmussen MK, Klausen CL, Ekstrand B. 2014. Regulation of cytochrome P450 mRNA expression in primary porcine hepatocytes by selected secondary plant metabolites from chicory (*Cichorium intybus* L.). *Food chemistry* **146**:255-263.

Rasmussen MR, Balaguer P, Ekstrand B, Daujat-Chavanieu M, Gerbal-Chaloin S. 2016. Skatole (3-Methylindole) Is a Partial Aryl Hydrocarbon Receptor Agonist and Induces CYP1A1/2 and CYP1B1 Expression in Primary Human Hepatocytes. *PloS One* **11**:e0154629.

Roberfroid MB, van Loo JAE, Gibson GR. 1998. The Bifidogenic Nature of Chicory Inulin and Its Hydrolysis Products. *Journal of Nutrition* **128**:11–19.

Robic A, Lazur C, Bonneau M. 2008. Genetic and metabolic aspects of androstenedione and skatole deposition in pig adipose tissue: A review. *Genetic Selection Evolution* **40**:129-143.

Röck F, Barsan N, Weimar U. 2008. Electronic nose: Current status and future trends. *Chemistry Review* **108**:705-725.

Santos JP, Garcia M, Aleixandre M, Horillo MC, Gutierrez J, Sayago I, Fernandez MJ, Ares L. 2004. Electronic nose for the identification of pig feeding and ripening time in Iberian hams. *Meat Science* **66**:727–732.

Sinclair PA, Squires EJ. 2005. Testicular sulfoconjugation of the 16-androstenedione steroids by hydroxysteroid sulfotransferase: its effect on the concentrations of 5α androstenedione in plasma and fat of the mature domestic boar. *Journal of Animal Science* **83**:358-365.

Skinner TM, Anderson JA, Haley CS, Archibald AL. 2006. Assessment of SULT1A1, CYP2A6 and CYP2C18 as candidate genes for elevated backfat skatole levels in commercial and experimental pig populations. *Animal Genetics* **37**:521-522.

Skinner TM, Doran E, McGivan JD, Haley CS, Archibald AL. 2005. Cloning and mapping of the porcine cytochrome-p450 2E1 gene and its association with skatole levels in the domestic pig. *Animal Genetics* **36**:417-422.

Squires EJ. 2006. Possibilities for selection against boar taint. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48**:1-8.

Squires EJ, Bonneau M. 2014. *Encyclopedia of Meat Science*. Elsevier, United Kingdom.

Squires EJ, Lundstrom K. 1997. Relationship between cytochrome P450IIE1 in liver and levels of skatole and its metabolites in intact male pigs. *Journal Animal Science* **75**:2506-2511.

Stupka R, Šprysl M, Čítek J. 2013. *Základy chovu prasat*. Powerprint, Praha.

Stupka R, Čítek J, Vehovský K, Zadinová K, Okrouhlá M, Urbanová D, Stádník L. 2017. Effects of Immunocastration on Growth Performance, Body Composition, Meat Quality, and Boar Taint. *Animal Science* **62**:249–258.

Škrlep M, Batorek Lukač N, Prevolnik Povše M, Tomažin U, Labussière E, Čandek-Potokar M. 2015. The effect of dietary fibre content on skatole and indole production in faeces of immunocastrated male pigs. *PoljoPrivreda* **21**:182-185.

Tajet H, Andresen O, Meuwissen TE. 2006. Estimation of genetic parameters for boar taint: skatole and androstenone and their correlations with sexual maturation. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48**:22-23.

Tambyrajah WS, Doran E, Wood JD, McGivan JD. 2004. The pig CYP2E1 promoter is activated by COUP-TF1 and HNF-1 and is inhibited by androstenone. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **431**:252-260.

Urquhart BL, Tirona RG, Kim RB. 2007. Nuclear receptors and the regulation of drug-metabolizing enzymes and drug transporters: implications for interindividual variability in response to drugs. *Journal of Clinical Pharmacology* **47**:566-578.

Van Oeckel MJ, Casteels M, Warnants N, Boucqu ChV. 1997. Omega-3 fatty acids in pig nutrition: Implications for zootechnical performances, carcass and fat quality. *Archives of Animal Nutrition* **50**:31-42.

Van Wagenberg CPA, Snoek HM, van der Fles JB, van der Peer-Scgwering CMC, Vermeer HM, Heres L. 2013. Far mind management characteristics associated with boar taint. *Animal* **7**: 1841-1848.

Varona L, Vidal O, Quintanilla R, Gil M, Sanchez A, Folch JM, Hortos M, Rius MA, Amills M, Noguera JL. 2005. Bayesian analysis of quantitative trait loci for boar taint in a Landrace outbred population. *Journal of Animal Science* **83**:301-307.

Vestergaard J, Haugen JE, Byrne DV. 2006. Application of an electronic nose for measurements of boar taint in entire male pigs. *Meat Science* **74**:564–577.

While SG, Kjos NP, Sörum H, Øverland M. 2012. Feeding Jerusalem artichoke reduced skatole level and changed intestinal microbiota in the gut of entire male pigs. *Animal* **6**:807-814.

Wäckers F, Olson D, Rains G, Lundby F, Haugen JE. 2011. Boar taint detection using parasitoid biosensors. *Journal of food science* **76**:S41-S47.

Walstra P, Claudi-Magnussen C, Chevillon P, von Seth G, Diestre A, Matthews KR, Homer DB, Bonneau M. 1999. An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: levels of androstenone and skatole by country and season. *Livestock Production Science* **62**:15-28.

Wang Y, et al. 2022. Consumption of supplementary inulin modulates milk microbiota and metabolites in dairy cows with subclinical mastitis. *Applied and environmental mikrobiology* **88**:e02059.

Werner D, Höinghaus K, Brandt H, Weißmann F, Baldinger L, Bussemas R. 2020. Performance of organic entire male pigs from two sire lines under two feeding strategies: Part 1: Growth performance, carcass quality, and injury prevalence. *J. Sustain. Org. Agric. Syst* **70**:67-73.

Wesoly R, Weiler U. 2012. Nutritional influences on skatole formation and skatole metabolism in the pig. *Animal* **2**:221-242.

Wesoly R, Jungbluth I, Stefanski V, Weiler U. 2015. Pre–slaughter conditions influence skatole and androstenone in adipose tissue of boars. *Meat Science* **99**: 60–67.

Witte DP, Ellis M, McKeith FK, Wilson ER. 2000. Effect of dietary lysine level and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. *Journal of Animal Science* **78**:1272-1276.

Whitehead AM, Czarnogorski M, Wright SM, Hayes PM, Haskell SG. 2008. Improving Trends in Gender Disparities in the Department of Veterans Affairs: 2008–2013. *American Journal of Public Health* **6**:529-531.

- Whittington FM, Nute GR, Hughes SI, McGivan JD, Lean IJ, Wood JD, Doran E. 2004. Relationships between skatole and androstenone accumulation, and cytochrome P4502E1 expression in Meishan × Large White pigs. *Meat Science* **67**:569-576.
- Wiercinska P, Lou Y, Squires EJ. 2012. The roles of different porcine cytochrome P450 enzymes and cytochrome b5A in skatole metabolism. *Animal* **6**:834-845.
- Wojnowski W, Majchrzak T, Dymerski T, Gębicki J, Namieśnik J. 2017. Electronic noses: Powerful tools in meat quality assessment. *Meat science* **131**:119-131.
- Wood JD, Nute GR, Fursey GAJ, Cuthbertson A. 1995. The effect of cooking conditions on the eating quality of pork. *Meat Science* **40**:127-135.
- Wu JJ, Park S, Hengemuehle SM, Yokoyama MT, Person HL, Gerrish JB, Masten SJ. 1999. The Use of Ozone to reduce the Concentration of Malodorous Metabolites in Swine Manure Slurry. *Journal of Agricultural Engineering Research* **72**:317-327.
- Xu ZR, Hu CH, Wang MQ. 2002. Effects of fructooligosaccharide on conversion of L-tryptophan to skatole and indole by mixed populations of pig fecal bacteria. *The Journal of General and Applied Microbiology* **48**:83-89.
- Yang G, Zhang P, Liu H, Zhu X, Dong W. 2019. Spatial variations in intestinal skatole production and microbial composition in broilers. *Animal Science Journal* **90**:412-422.
- Zadinová K, Stupka R, Stratil A, Čítek J, Vehovský K, Urbanová D. 2016. Boar taint-the effect of selected candidate genes associated with androstenone and skatole levels. *Animal Science Papers and Reports* **2**:107-128.
- Zadinová K. 2017. Senzorické vnímání kančího masa v závislosti na různých metodách tepelné úpravy. Česká zemědělská univerzita v Praze. Available from <https://www.ctpz.cz/vyzkum/senzoricke-vnimani-kanciho-masa-v-zavislosti-na-ruznychmetodach-tepelne-upravy-370> (accessed April 2022).
- Zamaratskaia G, Babol J, Andersson H, Ludgström K. 2004. Age related variation of plasma concentration of skatole, androstenone, testosterone, oestradiol-17 beta, estrone sulphate, dehydroepiandrostenone sulphate, triiodothyronine and IGF-1 in six entire male pig, reproduction in domestic. *Animal* **39**:168-172.
- Zamaratskaia G, Madej A, Babol J, Squires EJ, Lundström K. 2005. Free oestrone in adipose tissue and its relation to androstenone and skatole in entire male pigs. *Reproduction in Domestic Animals* **40**:156-160.

Zamaratskaia G, Chen G, Lungström K. 2006. Effect of sex, weight, diet and hCG administration on levels of skatole and indole in the liver and hepatic activities of cytochromes P450E1 and P450A6 in pigs. *Meat Science* **72**:331-338.

Zamaratskaia G, Squires EJ. 2008. Biochemical, nutritional and genetic effect on boar taint in entire male pigs. *Animal* **3**:1508-1521.

Zamaratskaia G, Rasmussen KM. 2015. Immunocastration of male pigs – situation today. *Procedia Food Science* **5**:324-327.

Zammerini D, Wood JD, Whittington FM, Nute RG, Hughes SI, Hazzledine M, Matthews K. 2012. Effect of dietary chicory on boar taint. *Meat Science* **91**:396-401.