

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**  
**Katedra chovu hospodářských zvířat**

**Vliv vybraných způsobů managementu chovu  
na reprodukci prasnic a užitkové vlastnosti kanečků**

doktorská disertační práce

**Autor: Ing. Kamila Pokorná**

**Školitel: doc. Ing. Jaroslav Čítek, Ph.D.**

**Konzultant: Ing. Kateřina Zadinová, Ph.D.**

**Praha 2 0 2 2**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předkládanou doktorskou disertační práci "**Vliv vybraných způsobů managementu chovu na reprodukci prasnic a užitkové vlastnosti kanečků**" vypracovala samostatně a použila jsem vědecké a odborné literatury, která je citována v práci a uvedena v seznamu literatury. Jako autorka uvedené práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu doktorské disertační práce doc. Ing. Jaroslavu Čítkovi, Ph.D. a konzultantce práce Ing. Kateřině Zadinové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a pomoc při zpracování této disertační práce. Dále bych za pomoc a věcné připomínky ráda poděkovala kolegům z Katedry chovu hospodářských zvířat, a to zejména doc. Ing. Lukáši Zitovi, Ph.D.; Ing. Monice Okrouhlé Ph.D.; Ing. Adamu Krausovi a Ing. Ondřeji Krontovi. Za projevenou podporu během celého doktorského studia děkuji zejména rodině. Vznik doktorské disertační práce byl podpořen těmito projekty: MŠMT 6046070901; NAZV QJ1510191; NAZV QK1910217; NAZV QK1910400 a SGS SV21-6-21320.

## Obsah

1. Úvod.....	6
2. Literární přehled .....	8
2.1. Welfare v chovu prasat.....	8
2.2. Nadpočetné vrhy a faktory ovlivňující velikost vrhu .....	10
2.2.1. Vliv věku prasniček při prvním zapaštění na velikost vrhu .....	10
2.2.2. Vliv výšky hřbetního tuku prasnice na velikost vrhu .....	12
2.2.3. Vliv délky mezidobí na velikost vrhu .....	13
2.2.4. Vliv pořadí vrhu na velikost vrhu .....	15
2.2.5. Management odchovu selat u nadpočetných vrhů .....	16
2.2.5.1. Využití kojných prasníc .....	16
2.2.5.2. Systém rozděleného kojení .....	17
2.3. Kančí pach a jeho eliminace .....	18
2.3.1. Složky kančího pachu .....	18
2.3.1.1. Androstenon.....	19
2.3.1.1.1. Androstenon v tuku .....	20
2.3.1.1.2. Androstenon ve slinách .....	21
2.3.1.2. Skatol .....	23
2.3.1.3. Indol .....	24
2.3.2. Management eliminace kančího pachu .....	24
2.3.2.1. Chirurgická kastrace kanečků.....	25
2.3.2.2. Imunokastrace.....	26
2.3.2.3. Výživa a krmení .....	28
2.3.2.4. Zkrácení doby výkrmu .....	30
2.4. Problematika výkrmu kanců .....	30
3. Vědecké hypotézy a cíle práce .....	32

3.1. Vědecké hypotézy.....	32
3.2. Cíle práce.....	32
4. Publikované práce.....	33
4.1. Influence of the use of nurse sows on their lifetime performance .....	34
4.2. The effect of farming system type on piglet production .....	42
4.3. Changes of androstenone concentrations in saliva of boars with age .....	49
4.4. The effect of dietary <i>Helianthus tuberosus</i> L. on the populations of pig faecal bacteria and the prevalence of skatole.....	56
5. Souhrnná diskuze .....	66
5.1. Vliv využití prasnic jako kojných na jejich celoživotní užítkovost .....	66
5.2. Vliv managementu chovu na produkci selat.....	68
5.3. Změny hladin androstenonu ve slinách kanců ve vztahu k věku.....	70
5.4. Vliv zkrmování <i>Helianthus tuberosus</i> L. na populace fekálních bakterií a hladinu skatolu u kanců.....	71
6. Závěr .....	74
7. Seznam použité literatury.....	76
8. Seznam zkratk .....	94

## 1. Úvod

Chov prasat patří v řadě evropských zemí včetně České republiky k jednomu z nejvýznamnějších odvětví zemědělské produkce, a to zejména díky velké oblibě vepřového masa mezi spotřebiteli. V České republice obliba vepřového masa přetrvává dlouhou řadu let, což úzce souvisí s tradicí české kuchyně. Tomu odpovídá i spotřeba vepřového masa, která se stále drží na předních příčkách. V roce 2020 spotřeba vepřového masa na obyvatele a rok činila 43,4 kg, což představuje 51,67 % z celkové spotřeby masa 84,0 kg (ČSÚ 2021). I přes velkou oblibu vepřového masa představuje soběstačnost jeho produkce v České republice k roku 2020 pouze 51,5 % (MZe 2021).

V posledních letech dochází k čím dál většímu zájmu veřejnosti o dobré životní podmínky hospodářských zvířat. V chovu prasat se zájem veřejnosti o welfare týká zejména dvou kategorií. První kategorií jsou prasnice na porodnách a druhou kategorií jsou kanečci, kteří se chirurgicky kastrují během prvního týdne jejich života.

Vzhledem k nízkým výkupním cenám prasat je pro chovatele důležité z hlediska zachování rentability vyprodukovat dostatečný počet selat určených pro výkrm. Cíleným šlechtěním v posledních letech došlo k takovému zlepšení reprodukčních parametrů, že jsou u prasnic zcela běžným jevem nadpočetné vrhy, kdy prasnice s daným počtem struků není schopna všechna selata sama odchovat. Často tak dochází k využívání prasnic jako kojných, což může mít vliv na jejich budoucí užitkovost. Kojné prasnice se využívají zejména ve velkých chovech, kdy se pro produkci selat chovají moderní hybridní kombinace disponující vysokým počtem selat ve vrhu. V extenzivních chovech dochází většinou k produkci méně početných vrhů a využití kojných prasnic se zde ve většině případů řešit nemusí. Vzhledem k maximálnímu využití reprodukčního potenciálu prasnic v intenzivních chovech se zde však nabízí otázka dopadu na jejich welfare.

S produkcí selat souvisí fakt, že kanečci jsou do týdne po narození ještě na porodnách kastrováni. V České republice mají spotřebitelé možnost zakoupit si vepřové maso, vyprodukované ve většině případů z prasniček, nebo z kastrováných samců – vepříků. Produkce masa z nekastrováných samců prasat – kanečků není v České republice běžnou praxí, a to zejména proto, že maso z kanečků je spojováno s nepříjemným pachem a chutí masa – s kančím pachem. Za kančí pach jsou

zodpovědné zejména dvě složky – androstenon a skatol, které jsou doprovázeny ještě třetí složkou – indolem.

I přes obsah složek způsobujících kančích pach v tuku, je výkrm kanečků v mnoha směrech více efektivní, než výkrm prasniček a vepříků, a to zejména díky jejich výborné růstové schopnosti, výborné konverzi krmiva a vynikající zmasilosti. Vzhledem k případnému zákazu chirurgické kastrace kanečků bez anestézie či analgezie a velké oblibě vepřového masa u českých spotřebitelů, je nutné hledat různé alternativy, které by vedly ke snížení obsahu těchto složek, nebo k jejich včasné detekci u živých zvířat. Díky vysokým požadavkům na dobré životní podmínky zvířat se budou jevit jako vhodné zejména ty alternativy, které nebudou pro zvířata invazivní.

Jen správný management chovu dokáže vytvořit dobré životní podmínky zvířatům, využít maximálního reprodukčního potenciálu prasnic a maximálního užitkového potenciálu prasat určených pro výkrm bez jakéhokoliv negativního dopadu na chovaná zvířata.

## 2. Literární přehled

### 2.1. Welfare v chovu prasat

Welfare, nebo-li životní pohoda zvířat, je čím dál častěji skloňovaným termínem ve vztahu k chovu hospodářských zvířat. Termín welfare bývá definován mnoha různými způsoby. Odkazuje především na stav jednotlivce ve vztahu k jeho prostředí a tento termín by měl být používán zejména s ohledem na management chovu zvířat nebo při formulaci právních předpisů (Broom 1991; Hemsworth 2015). Jedná se o stav pohody dosažený uspokojením fyzických, environmentálních, nutričních, behaviorálních a sociálních potřeb zvířete nebo skupin zvířat (Appleby 1996). Welfare je určitá charakteristika stavu zvířete, která může být měřena pomocí řady ukazatelů. Nejvíce se úroveň welfare vztahuje k systému ustájení, přepravě zvířat a k průběhu porážky (Broom 1991; Hemsworth 2015).

Ve vztahu k systému ustájení se klade důraz hlavně na zdraví zvířat, což znamená především osvobození od nemocí a různých poranění, která mohou vzniknout v důsledku používání špatných technologií. Dále je důležité minimalizovat stavy zvířat jako je bolest a úzkost. Někdy bývá uvedeno, že zajištění dobrého welfare spočívá v umožnění zvířatům projevat své přirozené chování a zajištění dostupnosti přírodních prvků z jejich přirozeného prostředí (Fraser 2008).

Z hlediska welfare je dále velmi důležité zajištění dobrých životních podmínek pro zvířata během jejich transportu. Ty mohou být narušeny fyzickým a psychickým stresem zvířat. Pro hodnocení dobrých životních podmínek během transportu prasat se využívá hodnocení pomocí záznamů o úhynu během přepravy, dále pomocí záznamů etologického pozorování a v neposlední řadě také pomocí hodnocení kvality masa. Kvalita masa odráží fyziologický stav zvířete během následné porážky. (Warriss 1998).

Welfare u prasat je reprezentováno především stavem pohody zvířat, která bývá doprovázena uspokojením fyzických potřeb, nutričních potřeb, sociálních potřeb, potřeb vztahujících se k prostředí a potřeb, které jsou nutné k projevům jejich přirozeného chování. Pokud chov nezajišťuje prasatům dobré životní podmínky, často se v chovu začnou objevovat projevy stereotypního chování. Mezi typické projevy takového chování se u prasat řadí sezení v pozici psa, zalehávání selat prasnici,



divočení selat prasnicí, agresivita, kanibalismus - okusování ocásků a uší, znečišťování příslušných ploch kotce (Scipioni et al. 2009).

Pokud jsou podmínky prostředí narušeny například hlukem, který přesahuje limitní hodnoty, dochází u jednotlivých kategorií k narušení homeostáze, což má mnohdy negativní dopad na zdraví jedinců. U kategorie selat může nadměrný hluk způsobit degeneraci svalové tkáně, u vykrmovaných prasat zvýšení srdečního tepu (Bond 1963), u rodičích prasnic pak může vyvolávat úzkost (Berner & Dietel 1992).

Velmi diskutovaným tématem z hlediska welfare je produkce vysokého počtu selat v jednotlivých vrzích prasnic. Čím dál častěji se opakuje otázka, zda cílené šlechtění prasnic na vysoký počet selat ve vrhu nemá negativní dopad na jejich welfare. Rutherford et al. (2013) uvádějí, že problematika velkého počtu selat ve vrhu má dopad jak na welfare prasnic, tak i na welfare selat. Vysoký počet selat ve vrhu je spojen s vyšší mortalitou selat, dále větší konkurencí u struků, což může mít v dlouhodobém rozsahu negativní vliv na zdraví selat a v neposlední řadě může u prasnice zvýšený produkční tlak vyvolat dlouhodobé zdravotní problémy a tím pádem narušení jejího welfare. Kvalita welfare a produkční možnosti prasnice mohou zvyšovat svou úroveň pouze pomocí kvalitního managementu chovu (Peltoniemi et al. 2021).

Kromě produkce vysokého počtu selat ve vrzích se pozornost ve vztahu k welfare upíná také k chirurgické kastraci kanečků. Chirurgická kastrace kanečků bez využití anestezie či analgezie je bezpochyby bolestivý proces. Využití anestezie, či analgezie sice od bolesti kanečkům ulevuje, ale tato metoda je spojena s problémy spojenými s přílišnou manipulací selat, což může být pro selata stresující. Alternativou k chirurgické kastraci ať už s využitím anestezie, analgezie či bez, je výkrm kanců nebo imunokastrace kanců během výkrmu. Výkrm kanců nebo imunokastrace jsou alternativy, které mají určité benefity pro welfare týkající se úlevy od bolesti při kastraci, ale pojí se s určitými nevýhodami, které se objevují až ve výkrmu. Jedná se například o výskyt agresivního chování u kanců přicházejících do puberty a v důsledku toho zvýšení stresu mezi zvířaty (Prunier et al. 2005; Thun et al. 2006; Von Borell et al. 2009).

## **2.2. Nadpočetné vrhy a faktory ovlivňující velikost vrhu**

Díky cílenému zlepšováním reprodukčních parametrů produkují prasnice vysoké počty selat ve vrhu. S produkcí vysokého počtu selat ve vrhu však souvisí problematika nadpočetných vrhů, ve kterých počet selat značně převyšuje počet funkčních struků prasnice. Zvyšující se počet selat ve vrhu je dlouhodobým výsledkem chovatelů a šlechtitelů po celém světě. Velké vrhy s sebou sice přinášejí ekonomické benefity pro chov prasat, ale také ovlivňují welfare zvířat (Baxter et al. 2013).

Nadpočetné vrhy mohou být problémem jak z pohledu selat, tak z pohledu prasnice. Více selat ve vrhu s sebou přináší rizika spojená s vyšším počtem mrtvě narozených selat, nižším počtem odstavených selat a nevyrovnaností selat ve vrhu (Andersson et al. 2015). Pokud počet selat překračuje schopnost prasnic úspěšně odchovat všechna selata, je nutné zvolit správné zásahy managementu chovu. Mezi takové zásahy se řadí například broušení zubů selat, rozdělení kojení, využití kojných prasnic a předčasný odstav. Všechny tyto postupy však vyvolávají otázku vztahující se k dobrým životním podmínkám zvířat (Baxter et al. 2013; Kobek-Kjeldager et al. 2019). Andersson et al. (2020) uvádějí, že problémem nejsou pouze nadpočetné vrhy, ale také vrhy o malém počtu selat. Ve své studii pozorovali souvislosti mezi velikostí vrhu a nutným veterinárním ošetřením prasnic během porodu a laktace, kdy veterinární ošetření vyžadovaly zejména prasnice s malými nebo nadpočetnými vrhy. Porod velmi malých nebo naopak velkých vrhů byl negativně spojen se zdravím prasnic a zároveň s negativním dopadem na jejich welfare.

Nadpočetné vrhy s sebou přináší určitá rizika a produkce takových vrhů bývá ovlivněna několika faktory. Mezi tyto faktory patří například věk prasniček při prvním zapuštění, kondice spojená s výškou hřbetního tuku, délka mezidobí zahrnující například délku intervalu odstav říje, délku březosti nebo délku laktace a v neposlední řadě také pořadí vrhu (Lawlor & Lynch 2007).

### **2.2.1. Vliv věku prasniček při prvním zapuštění na velikost vrhu**

Velikost vrhu je ovlivňována věkem prasniček při prvním zapuštění (Leman 1992; Tummaruk et al. 2001). Van Wettere et al. (2006) uvádějí, že s věkem prasniček při prvním zapuštění souvisí především nástup do puberty. V jejich studii byl průměrný věk nástupu do puberty u hybridních prasniček large white x landrase různý podle toho, kdy došlo k prvnímu kontaktu s kancem. Skupina prasniček, u kterých docházelo ke

kontaktu s kancem od věku 161 dní, nastupovala do puberty ve věku 179,5 dní ( $\pm 1,6$  dní). Prasničky, které přišly do kontaktu s kancem poprvé ve věku 182 dní, nastupovaly do puberty ve věku 191,7 dní ( $\pm 1,2$  dní). Skupina prasniček, která se poprvé setkala s kancem až ve věku 203 dní, nastupovala do puberty nejpozději, a to ve věku 210,3 dní ( $\pm 0,9$  dne). I přes různý nástup do puberty se nepotvrdil vliv věku při prvním zapuštění ani na míru ovulace, ani na počet embryí a ani na přežitelnost embryí ve spojitosti s velikostí vrhu.

Holder et al. (1995) pozorovali efekt snižujícího se věku při prvním zapuštění u prasniček. Prasničky byly od 125. dne věku v denním kontaktu s kancem a jako věk nástupu puberty se bralo to období, kdy prasnička začala být svolná k páření. Prasničky pak byly následně inseminovány na druhé říji. Ve výsledcích studie bylo konstatováno, že inseminace prasniček v dřívějším věku neměla žádný negativní dopad na velikost vrhu a následnou celoživotní užitkovost. Oproti tomu Young & King (1981) porovnávali skupiny prasniček, které byly inseminovány na první říji a na třetí říji. U některých prasniček byla první říje pozorována již ve věku mezi 140. a 149. dnem. Průměrný věk, kdy byly prasničky inseminovány, byl 177,8 dní. Ve výsledku bylo zjištěno, že tendenci zvyšovat velikost vrhu měly prasničky, u kterých byla inseminace odložena až do třetí říje. Pro inseminaci prasniček ve správném věku, která nám zajistí produkci vysokého počtu selat ve vrhu, je nutné zvolit správný způsob managementu chovu (Lawlor & Lynch 2007)

Schukken et al. (1994) popisují, že průměrný počet živě narozených selat v prvním vrhu se zvyšuje s věkem při prvním zapuštění prasniček. Na druhém vrhu byla pozorována obdobná souvislost, ale efekt zde byl nižší. Na velikost třetího vrhu věk při prvním zapuštění už žádný vliv nemá. I přes tento fakt, byly prasničky, které byly poprvé zapuštěny ve vyšším věku a produkovaly vyšší počty selat ve vrhu, mnohem dříve vyřazovány z chovu než prasničky, které byly poprvé zapuštěny v mladším věku. Paterson et al. (1980) se zabývali mírou ovulace prasniček při prvním zapuštění. Prasničky při prvním zapuštění uvolňovaly v průměru 10,9 vajíček ( $\pm 0,14$  vajíčka) a průměrná velikost jejich prvního vrhu byla 8 selat ( $\pm 0,12$  selete), z toho bylo průměrně živě narozených 7,5 selat ( $\pm 0,13$  selete). Míra ovulace při prvním zapuštění prasniček, měla významný vliv na velikost. Faktorem, který nejvíce ovlivnil ztrátu selat a tím i velikost vrhu, byla embryonální mortalita.

Rozeboom et al. (1996) uvedli, že zvyšující se věk při prvním zapuštění prasničky má za následek nepatrné zvýšení početnosti prvního vrhu a zvýšení

hmotnosti jejich selat při odstavu. Kummer et al. (2006) porovnávali tři skupiny prasniček, které byly poprvé zapuštěny v rozdílném průměrném věku a dosahovaly rozdílných denních přírůstků. Průměrný denní přírůstek první skupiny prasniček byl  $\geq 700$  g/den a tato skupina byla inseminována ve věku  $< 210$  dní. Průměrný denní přírůstek druhé skupiny prasniček byl  $\geq 700$  g/den a inseminovány byly v průměrném věku  $\geq 210$  dní. Průměrný denní přírůstek u třetí a zároveň poslední skupiny prasniček byl  $< 700$  g/den a tato skupina byla inseminována rovněž v průměrném věku  $\geq 210$  dní. Nejvyšší počet selat v prvním vrhu produkovala skupina prasniček z druhé skupiny, která byla inseminována ve věku  $\geq 210$  dní a u které byl průměrný denní přírůstek  $\geq 700$  g.

### **2.2.2. Vliv výšky hřbetního tuku prasnice na velikost vrhu**

S kondicí prasniček a prasnic a s jejím vlivem na reprodukci, především na velikost vrhu, souvisí zejména výška hřbetního tuku. Výška hřbetního tuku má významný vliv nejen na velikost vrhu, ale na reprodukci prasnic v celém rozsahu. Prasničky s vyšším hřbetním tukem nastupují daleko dříve do puberty, vyprodukují v průměru o jedno sele na vrh více než prasničky, které mají hřbetního tuku nižší. Selata, která se narodila těmto prasničkám, disponují mnohem lepším růstovým potenciálem a vyšší hmotností při odstavu. Prasničky s nízkým hřbetním tukem jsou navíc mnohem častěji vyřazovány z chovu, protože produkují málopočetné vrhy (Roongsitthichai & Tummaruk 2014).

Prasničky s vyšším hřbetním tukem do živé hmotnosti 100 kg vykazují vícepočetné 2. vrhy oproti prasničkám s nízkým hřbetním tukem (Tummaruk et al. 2001). Čechová & Tvrdoň (2006) popisují vztah mezi výškou hřbetního tuku a velikostí vrhů na jednotlivých vrzích u plemene large white. Výška hřbetního tuku prasnic byla měřena ultrasonografem. Mladé prasničky s vyšším hřbetním tukem produkovaly vyšší počet selat ve vrhu a více vrhů. Velikost vrhu se zvyšovala od 1. do 5. vrhu. Thongkhuy et al. (2020) pozorovali vztah mezi počtem mrtvě narozených selat a výškou hřbetního tuku. Uvádějí, že nejvyšší počet mrtvě narozených selat byl mezi 3. – 6. vrhem u prasnic s nízkým hřbetním tukem, což mělo negativní dopad na velikost jejich vrhu. Dále zjistili, že výška hřbetního tuku ve 109. dnu březosti má vliv na mléčnost prasnic mezi 3. – 10. dnem laktace, kdy konstatují zvýšení produkce mléka přibližně o 271 g na den. Filha et al. (2010) pozorovali, že nejvíce celkově narozených a z toho živě

narozených selat produkovaly prasničky, u kterých byla výška hřbetního tuku v rozmezí 16 – 17 mm. Roongsitthichai et al. (2010) zjistili, že nejvyšší počet selat ve vrhu měly prasničky, u kterých byla naměřena výška hřbetního tuku 17 mm a více. Roongsitthichai et al. (2011) věnovali následně pozornost výšce hřbetního tuku v době první inseminace prasniček. Výsledkem bylo, že skupina prasniček, která měla v době první inseminace nejvyšší hřbetní tuk (17 – 20 mm), produkovala nejvyšší počty selat na prvním vrhu (13,1 selat  $\pm$  0,5 selete). Skupina prasniček s průměrnou výškou hřbetního tuku (14 – 16,5 mm) měla na prvním vrhu v průměru 12 selat na vrh ( $\pm$  0,4 selete) a prasničky s nízkým hřbetním tukem (11,0 – 13,5 mm) produkovaly na prvním vrhu také průměrný počet 12 selat, ale s větší směrodatnou odchylkou ( $\pm$  0,6 selete). Schenkel et al. (2010) popisují význam udržení dostatečné výšky hřbetního tuku ( $\geq$  16 mm) u prasnic na první laktaci. Prasnice na první laktaci, u kterých se výška hřbetního tuku snižovala, produkovaly následně malé 2. vrhy. Udržení optimální kondice u prasnic a dostatečné výšky hřbetního tuku má pro reprodukci prasnic a zároveň i pro rentabilitu chovu podstatný význam. Kongsted & Hermansen (2009) uvádějí, že špatné kondici prasnic během odstavu je možné se vyhnout, pokud laktace trvá více než 7 týdnů, ale dále ve své studii nezjišťují žádný efekt výšky hřbetního tuku na reprodukční užitkovost prasnic.

### **2.2.3. Vliv délky mezidobí na velikost vrhu**

Mezidobí, nebo-li období od porodu do porodu, je jedním z ukazatelů reprodukční užitkovosti prasnic. Do tohoto období se řadí: interval odstav-říje, březost a také laktace. U prasnic se za optimální délku mezidobí považuje 150 dní, ale délka může být ovlivněna právě délkou intervalu odstav říje, délkou březosti a délkou laktace (Engblom et al. 2008).

Prodloužená doba mezidobí v důsledku prodlouženého intervalu odstav-říje má negativní vliv na velikost následujícího vrhu u prasnic (Kemp & Soede 1996). To potvrzují Boyd et al. (2002), kteří uvedli, že prodloužené mezidobí, které je způsobené prodlouženým intervalem odstav-říje, souvisí především s nedostatečným obsahem aminokyselin ve výživě prasnic během laktace. Tím dochází k velkým ztrátám tělesných rezerv prasnic a ke snížení velikosti následného vrhu. Prodloužená délka mezidobí spojená s prodloužením intervalu odstav-říje má vliv na dlouhověkost prasnic a jejich setrvání v chovu. Prasnice, u kterých byl interval odstav-říje delší než 30 dní,

byly vyřazovány z chovu mnohem dříve než prasnice, u kterých byl tento interval kratší než 9 dní. Dlouhý interval odstav-říje navíc znamenal celoživotně nižší produkci selat, což je spojeno s produkcí malých vrhů (Tantasuparuk et al. 2001).

Délku mezidobí ovlivňuje také délka březosti prasnic, která trvá v průměru 115 dní (Engblom et al. 2008). Omtvedt et al. (1965) potvrdili vztah mezi délkou březosti a velikostí vrhu. Delší doba březosti znamenala nižší počet selat ve vrhu. To potvrzují i Rydhmer et al. (2008), kteří popsali negativní korelace mezi délkou březosti a velikostí vrhu. Stejně tak byla zjištěna negativní korelace mezi délkou březosti a počtem mrtvě narozených selat.

Dalším faktorem ovlivňujícím velikost vrhu prasnic v rámci mezidobí je délka laktace. V praxi je průměrná délka laktace prasnic nejčastěji 28 dní (Leman 1992). Costa et al. (2004) uvádějí, že délka laktace mezi 22 až 25 dny zajišťuje na následném vrhu u prasnice lepší výsledky týkající se velikosti vrhu. S délkou laktace souvisí především ztráta hmotnosti prasnic během této periody. Velké ztráty hmotnosti u prasnic během laktace mají negativní efekt na počet mrtvě narozených selat a dále negativně ovlivňují velikost následných vrhů (Thaker & Bilkei 2005).

Prasnice, které disponují kratší dobou mezidobí díky zkrácené laktaci, mají podstatně menší následné vrhy než prasnice s mezidobím delším (Moody & Speer 1971). Cole et al. (1975) potvrzují, že krátká délka laktace je spojená s malými následujícími vrhy. Prasnice, jejichž délka laktace byla v rozmezí mezi 4 – 21 dní měly průměrný počet 6 – 9 selat na následujícím vrhu. Oproti tomu prasnice s délkou laktace v rozmezí mezi 12 – 42 dní, měly průměrný počet 12,7 selat v následujícím vrhu. Xue et al. (1993) uvádí, že delší laktace prodlužuje dobu mezidobí u prasnic, ale delší doba mezidobí v důsledku prodloužení laktace má pozitivní vliv na reprodukční užitkovost prasnic, a to zejména na velikost vrhu. Moody et al. (1969) se zabývali porovnáním velikostí vrhů od prasnic s krátkým mezidobím a velikostí vrhů od prasnic s dlouhým mezidobím. Prasnice s krátkým mezidobím, které bylo způsobené krátkou dobou laktace (v průměru okolo 20 dní), měly ve vrhu nižší počet celkem narozených selat a z toho nižší počet živě narozených selat. Prodloužená délka laktace měla pozitivní vliv na velikost vrhu. Prasnice s kratší délkou laktace jsou navíc mnohem dříve vyřazovány z chovu než prasnice s laktací delší. Předčasné vyřazování prasnic s kratší délkou laktace z chovu souvisí s produkcí méně početných vrhů (Xue et al. 1997). Delší laktace společně s delší dobou od porodu do zabřeznutí byla spojena s větší velikostí následujícího vrhu. Selata z takového vrhu měla vyšší hmotnost při

odstavu (Koketsu & Dial 1997). Dewey et al. (1994) zjistili, že velikost následujícího vrhu se zvyšovala u prasnic s délkami laktace 25, 27 nebo 33 dní. Hoshino & Koketsu (2009) zkoumali jaký má vliv prodlužující se délka laktace na velikost následných vrhů. Výsledky jejich studie ukázaly, že pokud se laktace prodlouží o jeden den, počet živě narozených selat se v následném vrhu zvýší o 0,08 selete, ale pouze ve vysokoprodukčních chovech. Oproti tomu v ostatních chovech se počet selat s prodlužující se délkou laktace snižuje o 0,04 selete. Varley & Cole (1976) konstatují, že krátká délka laktace (< 21 dní) má za následek redukci velikosti vrhu, která je způsobena zejména embryonální mortalitou v prvních 20 dnech březosti prasnice. S velikostí vrhů, které prasnice produkují po prvních a následných laktacích, souvisí jejich schopnost ovulace dostatečného počtu vajíček. Během laktace je vývoj folikulů prasnice ovlivněn úbytkem hmotnosti v důsledku kojení. Management chovu by proto měl být zaměřen především na stimulaci příjmu krmiva a řízení počtu selat, které prasnice kojí (Soede & Kemp 2015).

#### **2.2.4. Vliv pořadí vrhu na velikost vrhu**

Na velikost vrhu má značný vliv pořadí vrhu prasnice. Pořadí vrhu je spojeno s fyziologií organismu, a to zejména s růstem organismu, s čímž souvisí vývoj reprodukčních orgánů. Prodloužení reprodukčního života prasnic by mělo být základem produkce, protože teprve od 3. vrhu vykazují prasnice ziskovost (Engblom et al. 2007), a to především proto, že na 3. – 5. vrhu produkují nejvíce selat ve vrzích (Hoving et al. 2011). Mezi pořadím vrhu prasnice a velikostí vrhu byl potvrzen statisticky významný vztah v několika studiích (Hughes 1998; Knecht et al. 2015).

V chovech bývá velkým problémem velikost 2. vrhů, kdy se prasnicím rodí nižší počty selat než v 1. vrzích (Hoving 2012). Malý počet selat ve 2. vrhu negativně ovlivňuje velikost následných vrhů (Andersen et al. 2011; Hoving et al. 2011) a jeho velikost je ovlivněna zejména velikostí 1. vrhu (Hoving 2012), avšak Costa et al. (2004) uvádějí, že prasnice na prvních vrzích produkovaly vrhy s menším počtem selat, než prasnice na 2. a dalších vrzích.

Andersen et al. (2011) zjistili, že i přes podobný počet živě narozených selat ve vrhu napříč všemi vrhy prasnic, se na pozdějších vrzích zvyšovala mortalita selat, která měla negativní dopad na počet odchovaných selat. Lavery et al. (2018) hodnotili vliv pořadí vrhu na velikost vrhu u prasnic od 1. do 6. vrhu. Došli k závěru, že prasnice na

3. a 4. vrhu disponovaly vyšším počtem všech narozených selat i živě narozených selat, která měla vyšší hmotnost při narození. Segura et al. (2020) ale konstatovali, že pořadí vrhu nemá žádný vliv na počet živě a mrtvě narozených selat ve vrhu, což potvrzují i De Rosa et al. (2015). Avšak z výsledků Seguery et al. (2020) je patrná tendence snížení počtu selat na 2. vrhu, následné zvýšení na 3. vrhu a k opětovnému snížení dochází na 5. vrhu, který je ve studii hodnocen jako poslední. Mellagi et al. (2013) hodnotili vliv pořadí vrhu na délku intervalu odstav-říje a na velikost následného vrhu. Ve své studii dospěli k závěru, že prasnice po prvním vrhu mají delší interval odstav-říje a menší velikost následného vrhu v porovnání s prasnicemi na druhém, třetím a pátém vrhu. Freyer (2018) uvádí, že většina prasnic měla maximální počet selat na 4. vrhu.

Vliv pořadí vrhu však bývá doplněn i o vliv dalších faktorů, kterými jsou například věk při prvním zapaštění, délka laktace, stav kondice prasnic a další (Leman 1992; Tummaruk et al. 2001; Roongsitthichai & Tummaruk 2014).

## **2.2.5. Management odchovu selat u nadpočetných vrhů**

Nadpočetná selata se v chovech odchovávají především s využitím kojných prasnic (Baxter et al. 2013; Bruun et al. 2016; Alvåsen et al. 2017; Koketsu et al. 2017) a systému rozděleného kojení (Rosvold et al. 2017).

### **2.2.5.1. Využití kojných prasnic**

U vysokopočetných vrhů, kde se rodí takový počet selat, že jsou některá nadpočetná, je k jejich odchovu nutné využít tzv. kojných prasnic, což může mít dopad jak na welfare prasnic, tak selat (Kobek-Kjeldager et al. 2019). Jako kojná prasnice se označuje prasnice, která odchovává svůj vlastní vrh a následně po jeho odstavení odchovává ještě další vrh, který tvoří nadbytečná selata odebraná od jiné prasnice (Bruun et al. 2016; Alvåsen et al. 2017). Využití prasnic jako kojných je v praxi zcela běžné (Baxter et al. 2013; Bruun et al. 2016; Alvåsen et al. 2017; Koketsu et al. 2017), avšak počet studií, které by se zabývaly vlivem využití prasnic jako kojných na jejich welfare a následnou užitkovost, je omezený.

Amdi et al. (2017) porovnávali hladiny slinného kortizolu a hodnoty srdečního tepu mezi skupinou kojných prasnic a skupinou prasnic, které jako kojné využity nebyly s cílem zjistit, zdali je využití prasnic jako kojných pro prasnice stresové. Mezi



hladinami kortizolu se v krátkodobém časovém horizontu, který znamenal dobu, kdy prasnice obdržela selata z jiné vrhu, ani v dlouhodobém časovém horizontu mezi skupinami prasnic nelišil. Ani hodnoty srdečního tepu se mezi skupinami prasnic nelišily. Dle závěrů této studie lze konstatovat, že využití prasnic jako kojných nemělo žádný negativní dopad na pohodu prasnic během jejich laktace. Bruun et al. (2016) se zaměřili na reprodukční užitkovost kojných prasnic. I přes to, že kojné prasnice odstavily větší počet selat (odstav 12,4 selat z vlastního vrhu + 11,5 selat z jiného vrhu) než prasnice, které nebyly využity jako kojné (odstav 11,7 selat), dále byly v laktaci v průměru o 12,5 dne déle, disponovaly vyšším počtem selat na následném vrhu. Prodloužení laktace nemělo žádný vliv na nástup do říje a ve výsledku nemělo žádný negativní dopad na jejich následnou užitkovost.

Alvåsen et al. (2017) se zabývali vlivem využití prasnic jako kojných na welfare prasnic i selat. Využití prasnic jako kojných je spojeno s prodlouženou laktací prasnic, což ve výsledku může vést ke zhoršení kondice prasnic, poranění struků nebo ke vzniku vředů na předních končetinách. Tyto problémy naznačují snížení welfare kojných prasnic, které může vést v důsledku ke zhoršené plodnosti až následnému vyřazení z chovu. Na druhou stranu kojné prasnice snižují mortalitu selat v chovu, což má pozitivní vliv na welfare selat. Iida et al. (2019) uvádějí, že kojné prasnice produkují daleko efektivněji velký počet selat celoživotně, odstaví více selat a snižují své neproduktivní dny na minimum. Využití prasnic jako kojných je nedílnou součástí managementu chovu, vzhledem k čím dál vyššímu počtu selat ve vrzích, ale vzhledem k udržení dobrých životních podmínek zvířat, bude způsob jeho využití nutný dále studovat.

### **2.2.5.2. Systém rozděleného kojení**

Další z možností, jak řešit problém vysokých ztrát nadpočetných novorozených selat v důsledku nedostatečné výživy, je systém rozděleného kojení, což je společně s využitím kojných prasnic běžnou praxí (Rosvold et al. 2017). Zásadní roli na přežití selat má příjem kolostra ihned po narození. Příjem kolostra zajišťuje selatům energii a pasivní imunitu. Pro zajištění rovnoměrného příjmu mleziva všemi selaty, i těmi, která jsou ve vrhu nadpočetná, je nutné využít techniky rozděleného kojení (Alexopoulos et al. 2018). Cílem rozděleného kojení je zmírnit soutěž o příjem kolostra a zajistit dostatek kolostra pro všechna selata (Morton et al. 2019). Počet selat, o které

je prasnice schopna se postarat až do odstavu, je nižší než celkový počet narozených selat. Proto je systém rozděleného kojení pro zvýšení šance na přežití selat velice důležitý (Oliviero 2013). Alonso et al. (2012) zkoumali rozdíl v hladině imunoglobulinů v séru u selat, která o struk soutěžila bez využití rozdělené kojení a u selat, u kterých bylo rozděleného kojení využito. Mezi skupinami selat však nebyl v hodnotě imunoglobulinů v séru zjištěn žádný rozdíl. I přesto, že hladiny imunoglobulinů se mezi skupinami nelišily, je využití rozděleného kojení velmi důležité ve vztahu k příjmu dostatečného množství kolostra všemi selaty.

## **2.3. Kančí pach a jeho eliminace**

### **2.3.1. Složky kančího pachu**

Produkce vepřového masa z kanců není zcela běžnou praxí. Souvisí s tím především fakt, že během pohlavního dospívání kanců dochází k produkci složek, které jsou zodpovědné za vznik nepříjemné chuti a zápachu masa – kančího pachu. Jedná se zejména o dvě hlavní složky, a to androstenon a skatol (Patterson 1968; Vold 1970; Walstra & Marse 1970). Androstenon ( $5\alpha$ -androst-16-en-3-on), jehož úložištěm je primárně tuková tkáň kanců, způsobuje nepříjemný zápach vepřového masa, který se podobá potu a moči. Skatol (3-methyl-indol) je zodpovědný za zápach masa podobný výkalům. Tyto dvě složky jsou dále doplňovány indolem (Bone et al. 2019). V roce 1957 Self uvedl, že nepříjemný zápach se vyskytuje především v mase kanců, ale dále popsal, že také maso od některých prasniček, prasnic a vepříků se vyznačuje tímto nepříjemným zápachem (Self 1957). Williams et al. (1963) pozorovali, že nejvíce případů výskytu kančího pachu je u kanců (65 %), ale dále pozorovali výskyt kančího pachu i u kryptorchidů (35 %), vepřů (5 %), prasniček (5 %) a prasnic (1 %).

S ohledem na kančí pach je pro chovatele podstatné dosáhnout určitého genetického pokroku, který se týká především snížení hladin složek kančího pachu v tuku kanců. Pro tyto účely je potřeba znát příslušné parametry populace. Za jeden z nejvýznamnějších parametrů bývá označována heritabilita sledovaných znaků. Pro složky kančího pachu se uvádějí rozdílné hodnoty heritability. Pro androstenon se udává heritabilita 0,50 – 0,75; skatol 0,23 – 0,56 a pro indol 0,32 (Sellier et al. 2000; Tajet & Andresen 2006; Bergsma et al. 2008).

### 2.3.1.1. Androstenon

Jednou ze složek zodpovědných za kančí pach je androstenon ( $5\alpha$ -androst-16-en-3-on; dále jen AND), který je také velmi významný feromon, důležitý pro zajištění sexuální stimulace prasníc během páření (Knox 2003). První pokusy o identifikaci složek, které jsou zodpovědné za kančí pach, pochází ze studie Lerche (1936). Ten tvrdil, že nepříjemný zápach, který se vyskytuje v zahřátém kančím mase, se objevuje na začátku pohlavní dospělosti a mizí po kastraci. Prelog & Ruzicka (1944) izolovali  $5\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol (dále jen  $\alpha$ -AND) a  $5\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol (dále jen  $\beta$ -AND), které následně popsali jako pižmové pachy. O osmnáct let později Craig et al. (1962) popsali, že nežádoucí zápach, který je podobný zápachu moči a potu je spojen s tukovou tkání kanců. Patterson (1968) za využití plynové chromatografie – hmotnostní spektrometrie izoloval AND a tuto složku popsal jako složku, která je v kančím tuku zodpovědná za zápach podobný potu.

AND jako primární složka zodpovědná za kančí pach, je steroidní hormon, který je produkován společně s testosteronem a ostatními pohlavními hormony, Leydigovými buňkami ve varlatech. Společně s nimi zajišťuje stimulaci růstu a plodnosti. Metabolismus steroidních hormonů souvisí především s ledvinami, játry a varlaty (Laderoute et al. 2019). Primárním prekurzorem pro produkci AND je cholesterol, který je transformován pomocí  $20\alpha$ -hydroxylázy,  $22\alpha$ -hydroxylázy a  $20, 22$ -lyázy na pregnenolon. Pregnenolon je dále pomocí enzymů  $20\beta$ -hydroxy dehydrogenázy a  $5,16$ -androstadien-3 $\beta$ -ol syntetázy transformován na  $5,16$ -androstadien-3 $\beta$ -ol. Dále metabolická cesta syntézy androstenonu pokračuje přes meziproduct  $4,16$ -androstadien-3-on na AND (Brooks & Pearson 1986). Velmi významnou částí produkce androstenonu je redukce AND  $3\beta$ - a  $3\alpha$ -hydroxysteroid dehydrogenázou na  $\alpha$ -AND a  $\beta$ -AND (Laderoute et al. 2019).

Claus & Alsing (1976) uvádějí, že pokud jsou kanci izolováni od prasniček, dochází k prudkému snížení hladiny AND, což potvrzují i Bonneau & Desmoulin (1980). Andresen (1976) zjistil, že jeden kanec ze skupiny, který byl chován v jednopohlavním prostředí, vykazoval vyšší hladiny AND než ostatní jedinci. Tento výsledek naznačuje potlačení tvorby androstenonu ve vztahu k sociální hierarchii, kde ve skupině kanců bude nejvyšší hladiny androstenonu produkovat dominantní jedinec.

### 2.3.1.1.1. Androstenon v tuku

Nepříjemný zápach masa kanců je spojován zejména s tukovou tkání, která slouží jako uložisko pro složky kančího pachu. Přítomnost kančího pachu ve vepřovém masu je pro mnoho spotřebitelů nepřijatelná. Desmoulin et al. (1982) zjistili, že spotřebitelé považují kančí maso za přijatelné, pokud v masu není obsaženo vyšších hladin androstenonu než 0,5 µg/g u čerstvého vepřového masa a 1,0 µg/g ve zpracovaných masných výrobcích. Mezi obsahem AND, jako složky zodpovědné za kančí pach, v tukové tkáni a přítomností kančího pachu byla potvrzena pozitivní korelace (De Brabander & Verbeke 1986). Bonneau (1987) měřil hladinu AND v tuku u kanců ve věku 100, 125, 150 a 175 dní. Hladina AND v tuku byla velmi variabilní vzhledem k věku a individualitě zvířete. U dvou zvířat z pozorované skupiny byly naměřeny výrazně vyšší hodnoty AND ve 100 dnech věku. U dalších pěti byla ve 100 dnech věku pozorována nižší hladina, která se do 150. dne věku významně zvýšila. U zbývajících zvířat byly hladiny AND v tuku velmi nízké. Kanci vykazující vysoké hladiny AND byli následně zařazeni do skupiny vysoká hladina AND (high androstenone; HA) a kanci, kteří vykazovali nízké hladiny, byli zařazeni do skupiny nízká hladina androstenonu (low androstenone; LA). U skupiny kanců HA byla naměřena průměrná hodnota AND v tuku 0,53 µg/g ve 100 dnech věku až 1,67 µg/g ve 150 dnech věku, ale žádné další rozdíly mezi věkem 150 a 175 dní nebyly pozorovány. Ve druhé skupině LA byly průměrné hodnoty AND v tuku vyšší ve věku 125 – 150 dnů než ve 100 dnech (0,47 – 0,52 µg/g vs 0,27 µg/g). Andresen (1976) potvrdil vysoké pozitivní korelace mezi koncentrací AND v periferní plazmě a koncentrací AND v tuku ( $r = 0,82$ ). Hladina AND v plazmě byla 15 ng/ml, což znamenalo zvýšenou akumulaci AND v tukové tkáni. V této studii byli následně čtyři kanci zařazeni do reprodukce, což vedlo ke zvýšení hladiny steroidních hormonů. Dále byly pozorovány vysoké korelace mezi AND a testosteronem v periferní plazmě ( $r = 0,72$ ). Až na několik výjimek hladina AND převyšovala hladinu testosteronu v periferní plazmě.

Hladina AND v tuku nižší než 0,75 µg/g je spojena s nižší hmotností bulbouretrálních žláz (< 64 g), nižší hmotností submaxilárních slinných žláz (< 21 g) a s nižší hladinou AND v tkáni slinných žláz (Booth et al. 1986).

### 2.3.1.1.2. Androstenon ve slinách

S AND ve slinách souvisí především metabolismus submaxilárních slinných žláz. Tyto slinné žlázy kanců mají při syntéze a metabolismu AND zásadní roli. Katkov et al. (1972) uvádějí, že submaxilární slinná žláza má enzymatický systém potřebný k přeměně 5,16-androstadien-3 $\beta$ -olu na  $\alpha$ -AND a  $\beta$ -AND a její tkáň obsahuje vysoké koncentrace AND,  $\alpha$ -AND a  $\beta$ -AND. Submaxilárním slinným žlázám však chybí andien- $\beta$  syntetázový systém, který je nutný pro syntézu 5,16-androstadien-3 $\beta$ -olu z pregnenolonu.

Podle Brookse & Pearsona (1986) slinné žlázy sice nejsou schopny syntézy steroidů z prekurzorů cholesterolu a pregnenolonu, ale jsou schopny metabolizovat meziprodukty steroidů, které jsou do nich transportovány cirkulující krví. Z prekurzorů jsou steroidy primárně syntetizovány ve varlatech kanců a k jejich uvolnění do krve dochází přes varleční žílu. Transport steroidů v plazmě kanců, který je zajišťován zejména díky proteinům plazmy, je ovlivňován množstvím steroidů, které jsou dostupné pro vychytávání cílovou tkání (Brooks & Pearson 1986). Bone et al. (2019) poskytují přímý důkaz, že androstenon je v plazmě kanců transportován nespecificky pomocí sérové bílkoviny albuminu. Joseph (1994) uvádí, že folikulostimulační hormon (FSH) stimuluje produkci androgeny vázajícího proteinu (ABP), který je produkován v Sertoliho buňkách. Tento specifický protein je produkován do lumenu semenotvorného kanálku, kde na sebe váže testosteron společně s dalšími androgeny. Bone et al. (2019) dále popisují transport nekonjugovaného androstenonu specificky navázaného na protein feromaxein, který zajišťuje transport androstenonu do slinných žláz. Transport androstenonu pomocí feromaxeinu však není prozatím dostatečně znám.

Pregnenolon slouží jako společný prekurzor při tvorbě adrenálních kortikoidů, androgenů, estrogenů a jedná se o primární prekurzor při syntéze androstenonu. Po uvolnění steroidů přes varleční žílu do krve se steroidy dopravují do tukové tkáně, kde dochází k jejich uskladnění. Nejvíce lipofilní, a tudíž převládající formou skladování je AND, jiné formy steroidů jsou v kančím tuku také detekovatelné, ale v menších koncentracích (Brooks & Pearson 1986).

Akumulace androstenonu v tukové tkáni je reverzibilní proces, což bylo prokázáno snížením koncentrace AND v tukové tkáni samců prasat po kastraci. Dále jsou steroidy uskladněné v tuku využívány během sexuální stimulace prasnic.

Steroidy jsou uvolňovány z tukové tkáně do oběhového systému pro transport do slinných žláz během sexuální stimulace velmi pomalu. Daleko rychlejší je jejich příjem z krve během skladování. Díky schopnosti tkáně slinných žláz metabolizovat každý z přichozících steroidů cirkulující krví dochází ke vzniku vysokých koncentrací AND,  $\alpha$ -AND a  $\beta$ -AND v kančích slinách během jejich sexuální stimulace (Brooks & Pearson 1986).

Kančí sliny jsou velmi důležité pro normální sexuální chování u obou pohlaví. Zápach slin, který je způsoben příslušnými steroidy, je detekován samicemi a jejich feromonální účinek vede k charakteristickému pářicímu postoji a následné kopulaci (Brooks & Pearson 1986). Patterson (1982) pozoroval nižší hladinu AND v tuku u kanců, kteří byli chováni společně s prasničkami oproti kancům, kteří byli chováni pouze společně s kanci, což naznačuje potřebu vyšších hladin androstenonu ve slinách, z důvodu potřeby jejich feromonálního účinku.

Booth et al. (1986) uvádějí, že velikost varlat, bulbouretrálních žláz a submaxilárních slinných žláz se zvyšuje s tělesnou hmotností a věkem kanců a dále uvádějí pozitivní korelace mezi hladinou AND v tkáni slinné žlázy a hladinou AND v tuku, hmotností bulbouretrální žlázy a koncentrací testosteronu v plazmě. Dehnhard et al. (2013) porovnávali hladinu androstenonu ve slinách kanců göttingenských prasat a prasat plemene landrase. Sliny byly odebírány v období od prosince do února v množství 0,5 – 2 ml u každého vzorku během odběru spermatu na testační stanici kanců. Vzorky slin byly následně zanalyzovány pomocí plynové chromatografie – hmotnostní spektrometrie (GC-MS). Prokazatelně vyšší hladiny AND,  $\alpha$ -AND a  $\beta$ -AND byly zjištěny ve slinách göttingenských prasat, kde bylo průměrně 9,20  $\mu\text{g/ml}$  u  $\alpha$ -AND a 0,42  $\mu\text{g/ml}$   $\beta$ -AND. Oproti tomu kanci plemene landrase měli průměrně 0,18  $\mu\text{g/ml}$  u  $\alpha$ -AND a 0,02  $\mu\text{g/ml}$  u  $\beta$ -AND. Velké diference mezi jednotlivými plemeny byly vysvětlovány sezónností göttingenských prasat.

### 2.3.1.2. Skatol

Skatol (3-methyl-indol), pro který je typický silný fekální zápach, je metabolit, který vzniká při degradaci aminokyseliny L-tryptofanu střevními mikroorganismy (Claus et al. 1994). Produkce skatolu je spjatá zejména s tlustým střevem, kde je část skatolu absorbována střevní sliznicí a metabolizována v játrech působením enzymu cytochromu P450 (Kameník & Kratochvíl 2012). Játerní cytochrom P450E1 (CYP2E1) je hlavním játerním enzymem, který je zapojený do metabolismu skatolu (Squires & Lundstrøm 1997). Játra mají potenciál i kapacitu extrahovat skatol z krve v množství, které převyšuje to, co se v krvi nachází za fyziologických podmínek (Agergaard & Laue 1998). Ta část skatolu, která se nemetabolizovala, se ukládá v tukové tkáni a má za následek vznik kančího pachu. Množství skatolu, které se do tukové tkáně ukládá je závislé především na složení krmiva předkládaného prasatům (Kameník & Kratochvíl 2012). Například krmivo obohacené o bramborový škrob, čekanku, topinambur a další možné komponenty má za následek snížení hladiny skatolu v tukové tkáni kanců (Aluwé et al. 2009).

Bylo prokázáno, že přítomnost skatolu synergicky posiluje nepříjemný zápach 5 $\alpha$ -androst-16-en-3-onu (Brooks & Pearson 1986). Avšak Hansson et al. (1980) zjistili, že pro skatol nebylo specifické ukládání pouze v kančím tuku, protože podobné hladiny skatolu byly měřeny i v tuku u vepřů a prasniček. Wesoly et al. (2016) uvádějí, že vyšší hladiny skatolu u kanců byly pozorovány v břišním tuku oproti tuku hřbetnímu. Velký vliv na prostup skatolu kůží mělo zejména znečištění kůže, a to zejména v oblasti břicha a kýty.

Hladiny skatolu, které jsou pro spotřebitele nepřijatelné, se v řadě zemí liší. Například v Dánsku se jedná o hladinu skatolu 0,25  $\mu\text{g/g}$  tuku, v Norsku je to 0,21  $\mu\text{g/g}$  (Agergaard & Laue 1998) a ve Švédsku se jedná o hladinu 0,20  $\mu\text{g/g}$  (Babol et al. 2004). Tolerance vyšších hladin skatolu ve většině případů souvisí s tradicí daných zemí. V zemích, kde se nekastruje řadu let, jsou lidé ke kančímu masu tolerantnější. Deslandes et al. (2001) navíc popsali, že skatol nehraje žádnou fyziologickou roli u prasat a dále tvrdí, že zatímco je skatol pro většinu přežvýkavců toxický a způsobuje u nich akutní plicní edém a emfyzém, na prasata nijak toxicky nepůsobí.

### **2.3.1.3. Indol**

Další složkou, která je zodpovědná za vznik kančího pachu, je indol. Indol, stejně jako předchozí složka, skatol, vzniká v tlustém střevě při degradaci aminokyseliny L-tryptofanu (Jensen et al. 1995). Primárním uložištěm indolu je jako u předchozích složek tuková tkáň (Rius & García-Regueiro 2001). Oproti androstenonu a skatolu se indol na tvorbě kančího pachu podílí v menší míře (Moss et al. 1993).

Na hladinu indolu má vliv plemenná příslušnost a věk kanců a jeho hladina se zvyšuje s nástupem pohlavního dospívání (Babol et al. 2004). Snížit hladinu indolu je možné zkrmováním lupiny, bramborového škrobu (Aluwé et al. 2009) a sušeného kořene čekanky (Hansen et al. 2006). Kjos et al. (2010) potvrzují pozitivní vliv zkrmování čekanky poslední čtyři týdny výkrmu na redukci hladiny indolu v tlustém střevě i v tukové tkáni.

### **2.3.2. Management eliminace kančího pachu**

Výkrm kanců z hlediska produkce vepřového masa představuje velké ekonomické výhody, avšak maso kanců je spojené s přítomností nepříjemného zápachu masa. Nejběžnější metodou eliminace tohoto zápachu je chirurgická kastrace kanečků. Kastrace kanečků není jen nepříjemná a namáhavá práce, která představuje mimo jiné například riziko infekce, ale je to také proces, jehož následkem dochází u vepříků ke snížení denních přírůstků a ke zhoršení konverze krmiva (Brewster & Nevel 2013). Pokud by byla nalezena vhodná alternativa eliminace kančího pachu, kastrace kanců by už nebyla nutná (Brooks & Pearson 1986). Nové postupy eliminace kančího pachu, které by umožnily uvést na trh maso z kanců, jsou pro chov prasat velmi důležité. Mnoho studií v minulosti uvedlo, že nebyl pozorován žádný pevný vztah mezi kančím pachem a hmotností nebo věkem kanců (Andresen 1976; Bonneau & Desmoulin 1980), avšak Ruszczyk et al. (1981) pozorovali zvyšující se koncentraci AND s věkem a hmotností kanců.

Claus & Hoffman (1971) zmiňují zvýšení koncentrace AND v plazmě a tuku přibližně ve 200 dnech. Za zmínku stojí i studie Willekeho et al. (1980), kteří úspěšně snížili koncentraci AND během třígenerační selekce u německých kanců plemene landrase. Třígenerační selekce však způsobila také snížení hladin testosteronu, což představuje negativní dopad na růst kanců. Různé možnosti eliminace kančího pachu



bez negativního dopadu na jejich růstový potenciál budou pro chovatele prasat čím dál více aktuálním tématem (Brewster & Nevel 2013).

### **2.3.2.1. Chirurgická kastrace kanečků**

Chirurgická kastrace bez anestezie je běžně používanou metodou, která je pro chovatele rychlým a levným způsobem, jak zajistit dostatečnou redukci kančího pachu. Chirurgická kastrace ve své podstatě zajišťuje možnost prodeje vepřového masa bez rizika přítomnosti složek zodpovědných za kančí pach (Brewster & Nevel 2013; Burgeon et al. 2021). Ve Spojeném království a dalších zemích Evropy se již chirurgicky nekastruje z důvodu vlivu na welfare zvířat (Brewster & Nevel 2013).

Kastrace selat může vyvolat významné zvýšení adrenokortikotropního hormonu (ACTH) a kortizolu. Tyto změny jsou indikací především stresu a poškození tkáně, které je způsobené v důsledku kastrace. Měření kortizolu a ACTH v plazmě by mohlo být užitečným způsobem ověření hladiny stresu způsobného kastrací (Prunier et al. 2005). Moya et al. (2008) pozorovali, že kastrace vyvolává specifické projevy chování spojené s bolestí. Jednalo se zejména o choulení se, křeče a chvění. Kastrovaní jedinci se méně pohybovali a zůstávali převážně v poloze sedu. Dále měli kastrovaní jedinci tendenci zdržovat se více u struku a vyžadovali kontakt s prasnici. Také bylo potvrzeno, že kastrovaní kanečci měli vyšší hladiny kortizolu v plazmě.

Von Borell et al. (2009) potvrzují, že kastrování během neonatální periody je čistě bolestivý proces. Dále uvádějí, že kastrace s použitím lokální anestezie, nebo dlouhodobé anestezie, významně snížila projevy bolesti. Yun et al. (2019) prokázali rozdíly v chování chirurgicky kastrovaných selat s anestezí a bez anestezie. Jedinci, u kterých byla použita anestezie, vykazovali méně času neaktivním stáním nebo sezením a dále vrtěním ocasu. Gottardo et al. (2016) uvádějí, že bolest spojená s kastrací kanečků je závažný problém welfare zvířat. Ve své studii porovnávají účinky různých přístupů a produktů vhodných pro zemědělce s cílem snížení bolesti způsobené kastrací selat. Výsledkem studie bylo zjištění, že kastrovaná selata bez anestezie vykazovala vyšší frekvenci chování spojeného s bolestí po kastraci prvních 30 min po zákroku oproti jedincům, kteří před kastrací dostali různé koncentrace lokálního anestetika Tetrakainu s tím, že po 60 minutách nebyly patrné žádné rozdíly v chování mezi skupinami. Závěrem studie bylo, že použití lokální anestezie přináší pouze jen malý přínos ve zmírnění bolesti spojené s kastrací.

Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) uvádí tyto možné alternativy, které by mohly nahradit chirurgickou kastraci kanečků: výkrm kanečků, imunokastrace, sexování spermií zajišťující produkci pouze prasniček nebo podávání hormonů k inhibici hypotalamo-hypofyzární-gonadální osy (EFSA 2004).

### **2.3.2.2. Imunokastrace**

Imunokastrace je jednou z alternativ chirurgické kastrace, která se aplikuje od 8 týdnů věku kanců ve formě dvou vakcín. Jedinou povolenou vakcínou pro imunokastraci provádí je Improvac. Specifičnost účinnosti Improvacu je tvorba protilátek proti gonadotropin uvolňujícímu faktoru (GnRF) a dočasné potlačení funkce varlat. Použití Improvacu má za následek snížení produkce androstenonu, který způsobuje nepříjemný zápach vepřového masa. Ke snížení hladin skatolu může docházet nepřímo. K nástupu imunity dochází přibližně jeden týden po druhé vakcinaci, prokázáno však bylo, že žádoucí účinek nastává až po 4 až 6 týdnech po druhé vakcinaci. Díky vakcinaci Improvacem dochází ke snížení projevů agresivního a sexuálního chování v době výkrmu kanců. Zvířata mohou být poslána na porážku do 10 týdnů po poslední dávce Improvacu bez rizika výskytu kančího pachu. Po uplynutí této doby se funkce varlat u kanců vrací do normální funkce (Andersson et al. 2012; Improvac 2020).

Škrlep et al. (2010) pozorovali, že hladina androstenonu a skatolu v tuku dokazují 100% úspěšnost imunizace Improvacem, a že hladiny androstenonu byly nižší než detekční limity laboratorních metod u všech prasat. Dále pozorovali, že vakcinace Improvacem výrazně snižuje hmotnost varlat a přídatných pohlavních žláz. Co se týká růstových schopností, imunokastrovaní kanci dosahovali srovnatelného příjmu krmiva, konverze a růstu jako nekastrovaní kanci. Andersson et al. (2012) konstatují, že brzká vakcinace Improvacem může být použita jako alternativa chirurgické kastrace vedoucí ke snížení problematického chování kanců s neovlivněním rentability. Brewster & Nevel (2013) pozorovali významné rozdíly mezi skupinou nekastrovaných kanců a mezi skupinou kanců vakcinovanou Improvacem, a to zejména v agresivním a sexuálním chování. Vakcinace Improvacem významně snižuje výskyt nechtěného agresivního a sexuálního chování v porovnání se skupinou nekastrovaných samců. Andersson et al. (2012) uvedli, že po druhé vakcinaci kanečci nevykazují žádné sexuální chování oproti skupině kanečků bez vakcinace

Improvacem. Vakcinovaná zvířata také vykazovala menší počet kožních lézí, které byly počítány po porážce na jateční lince. Dále uvádějí, že vakcinace Improvacem je užitečná jako prevence proti problémům s chováním kanečků ve výkrmu.

Andronie et al. (2016) zjistili, že imunokastrovaní jedinci měli v průměru o 49 g vyšší denní přírůstky než chirurgicky kastrování jedinci. Dále uvedli, že mortalita u imunokastrátů byla nižší v průměru o 0,23 %. Brunius et al. (2011) zjišťovali rozdíly mezi skupinami odlišně kastrováných kanců. První skupina byla chirurgicky kastrována do věku jednoho týdne, druhá skupina kanečků byla kastrována imunochemicky ve věku 10 až 14 týdnů, třetí skupina byla kastrována rovněž imunochemicky v klasickém věku a to 16 až 20 týdnů a čtvrtou skupinu tvořili kanečci. Nejnižší hladina složek kančího pachu v tuku byla naměřena u skupiny chirurgicky kastrováných jedinců. U kanců vakcinovaných ve standardní dobu byly hladiny složek kančího pachu v tuku téměř totožné jako u skupiny kanců vakcinovaných brzy – androstenon 169 ng/g, skatol 26 ng/g a indol 6,1 ng/g. U skupiny kanečků byly hladiny složek kančího pachu v tuku několikanásobně vyšší. V závěru studie Bruniuse et al. (2011) udávají možnost využití brzké vakcinace přípravkem Improvac jako alternativu v rámci zachování kontroly nad hladinami složek kančího pachu a nad testikulární aktivitou kanců.

Dunsha et al. (2001) zkoumali efekt GnRH (gonadotropin releasing hormone; gonadotropiny uvolňující hormon) vakcíny (Improvac) na eliminaci kančího pachu. Kanci zahrnutí do studie byli vakcinováni 8 týdnů a 4 týdny před porážkou. U kanců, vakcinovaných Improvacem, byla zjištěna redukce varlat a bulbouretrálních žláz o 50 %, hladiny testosteronu v séru byly nižší než 2 ng/ml u většiny vakcinovaných kanců. Hladiny androstenonu a skatolu v tuku byly u vakcinovaných kanců potlačeny na nízkou, popřípadě nedetekovatelnou hladinu u 100 % vakcinovaných jedinců. U kanců, kteří Improvacem vakcinováni nebyli, byly zjištěny vysoké hladiny obou složek kančího pachu, které přesahovaly prahové hodnoty 1,0 µg/g pro androstenon a 0,2 µg/g pro skatol. Aplikace Improvacu se zdá být jako adekvátní náhrada chirurgické kastrace kanečků, a navíc dle studie Dunsha et al. (2001) kanci vakcinovaní Improvacem měli vyšší podíl libové svaloviny společně s lepší konverzí krmiva oproti vepříkům, což potvrzují i Pérez-Sato et al. (2021), kteří porovnávali skupinu kanečků a imunokastrátů ve třech ukazatelích: plocha *musculus longissimus dorsi*, podíl libové svaloviny a výška hřbetního tuku. Na konci výkrmového období měli lepší výsledky imunokastrovaní jedinci ve všech třech ukazatelích.

Výkrm nekastrovaných a imunokastrovaných jedinců bývá spojen s problematikou agresivního chování. Rydhmer et al. (2010) porovnávali četnost výskytu agresivního chování u chirurgicky kastrovaných jedinců, imunokastrátů a u kanečků. Kanečci kastrovaní chirurgicky byli kastrováni do jednoho týdne věku, imunokastráti byli vakcinováni vakcínou Improvac, kdy první dávka byla podána v době mezi 8 – 11 týdny před porážkou a druhá dávka byla podávána 4 týdny před porážkou. Po druhé vakcinaci vykazovali imunokastráti méně četné agresivní chování v porovnání s nekastrovanými jedinci. Projevy sexuálního chování se snížily na stejnou úroveň jako u chirurgicky kastrovaných jedinců, dále se u imunokastrátů téměř nevyskytovaly kožní léze v porovnání s kanečkou. I přes četné výhody výkrmu kanců je výkrm kanců spojen s projevy agresivního chování, což s sebou přináší nevýhody spojené především s negativním dopadem na jejich welfare.

### 2.3.2.3. Výživa a krmení

Další možností eliminace kančího pachu je eliminace výživou, což je spojeno zejména se skatolem. Skatol vzniká degradací aminokyseliny L-tryptofanu v anaerobních podmínkách střeva a za jeho produkci jsou zodpovědné zejména bakterie rodu *Escherichia coli*, *Clostridium ssp.* a *Lactobacillus ssp.*, které rozkládají tryptofan na indol a kyselinu indolactovou, která je hlavním prekurzorem vzniku skatolu (Jensen & Jensen 1993). Hlavním zdrojem tryptofanu je odpad buněk, které tvoří výstelku střeva (Claus & Raab 2006), proto je jedna z možností snížení hladiny skatolu omezení apoptózy střevních buněk. Tím se sníží množství buněčného odpadu a následně i množství tryptofanu. Omezení apoptózy lze zajistit zkrmováním různých komponentů (Claus et al. 2003). Aluwé et al. (2009) zjistili rozdíly mezi skupinami krmenými krmnou směsí s přísadkou rozdílných komponentů (bramborový škrob 10 %, bramborový škrob 10 % + pšeničné otruby, lupina 10 %, inulin 5 %, klinoptilolit 1 %) do standardní diety 4–6 týdnů před porážkou. Nebyly však zjištěny žádné rozdíly v hladině kančího pachu mezi skupinami kanců krmenými dietami s odlišným přísadkou komponentů.

V další studii Aluwé et al. (2017) hodnotili vliv zařazení 5 % inulinu a 5 % oligofruktózy během posledních 3 týdnů před porážkou na kvalitu jatečně upraveného těla (JUT), hladinu skatolu a indolu v hřbetním tuku a také olfaktorické hodnocení kančího pachu. Výsledkem studie bylo zjištění, že hmotnost JUTu se mezi skupinami

nelišila, ale vyšší hodnoty libové svaloviny byly zjištěny u skupiny krmené přídatkem oligofruktózy ve srovnání s kontrolní skupinou. Zkrmování 5 % inulinu a 5 % oligofruktózy ve finální dietě kanců mělo významný vliv na snížení skatolu ve hřbetním tuku zvířat, bez vlivu na hladinu indolu.

Hansen et al. (2006) nahradili čtvrtinu krmné dávky prasat sušeným kořenem čekanky přibližně 4 – 9 týdnů před porážkou. Byla potvrzena významná redukce androstenonu v plazmě prasat, kterým byl podáván kořen čekanky v 9. týdnu života. Kjos et al. (2010) pozorovali nižší hladinu skatolu ve hřbetním tuku prasat po podávání čekankového inulinu. Dále uvádějí, že podávání čekankového inulinu ve finální krmné dávce kanců má za následek snížení hladin skatolu ve hřbetním tuku, ale takový výsledek má pouze podávání 4,2 % čistého inulinu.

Øverland et al. (2008) uvádějí, že skatol v plazmě byl významně redukován u kanců, kteří byli krmeni krmnou dávkou, která obsahovala kyselinu mravenčí a kyselinu benzoovou oproti kontrolní skupině. Krmná dávka obohacená o organické kyseliny však neměla žádný vliv na hladinu skatolu v tukové tkáni. Dále bylo prokázáno, že skupina kanců krmena organickými kyselinami měla významně nižší hodnoty koliformních bakterií, enterokoků a bakterií produkujících kyselinu mléčnou.

While et al. (2012) obohatili krmivo kanců různým podílem topinamburu jeden týden před porážkou s cílem určit jeho vliv na hladinu skatolu v tlustém střevě a v tukové tkáni. Dieta, která obsahovala vyšší podíl topinamburu, redukovala skatol ve střevě s tendencí redukce hladiny skatolu i tukové tkáni. Snížená hladina skatolu však mohla souviset se sníženým počtem bakterií *Clostridium perfringens*, což mohlo souviset se zvýšeným podílem mastných kyselin s krátkým řetězcem s následnou redukcí pH.

Zammerini et al. (2012) uvádějí, že zkrmování přídatku sušeného čekankového kořene, v produktu Fibrosos 60, který odpovídal 3 % inulinu, dva týdny před porážkou, mělo významný vliv na redukci skatolu. Zkrmování čekanky významně ovlivnilo hladinu skatolu, ale nemělo žádný vliv na hladinu AND. Argemí-Armengol et al. (2021) zjišťovali vliv zkrmování ovesné siláže na složení mastných kyselin v tuku u kanečků a prasniček a následně vliv na hladinu skatolu a indolu v tuku u kanečků. Nebyl zjištěn žádný vliv zkrmování ovesné siláže na celkovou koncentraci nasycených mastných kyselin a na koncentraci mononenasycených mastných kyselin ve vepřovém tuku. Prokázáno však bylo zvýšení celkových polynenasycených mastných kyselin. Na

hladiny složek kančího pachu neměla změna diety vliv, i když díky detekci kančího pachu pomocí lidského nosu, bylo vyřazeno více kanečků krmených ovesnou siláží.

#### **2.3.2.4. Zkrácení doby výkrmu kanců**

Další možností eliminace kančího pachu je zkrácení doby výkrmu. Zvýšení hladin složek zodpovědných za kančí pach je spojováno zejména se zvyšujícím se věkem a hmotností kanců (Claus 1979; Ruszyc et al. 1981). Claus & Hoffman (1971) pozorovali zvýšení AND v plazmě a v tuku přibližně ve 200 dnech věku kanců. Walker (1980) uvádí, že rychle rostoucí kanci, kteří jsou poráženi v hmotnosti 100 až 120 kg, vykazují vyšší hladinu AND. Babol et al. (2004) prokázali, že vyšší hladina kančího pachu je spojena s věkem kanců, což je spojeno s nástupem pohlavního dospívání. Z toho vyplývá, že zkrácení doby výkrmu by vyřešilo problém obsahu složek způsobujících kančí pach v mase. Otázkou zůstává ekonomická výhodnost dřívější porážky.

Vezme-li se v úvahu rentabilita výkrmu, je nejúčinnější výkrm prasat přibližně do živé hmotnosti 100 kg. S výkrmem kanců do vyšších hmotností a vyššího věku jsou spojeny komplikace, vznikající díky bojům mezi zvířaty, které vedou ke vzniku lézí (Senčić et al. 2005). Faucitano (2001) uvádí, že díky tomu dochází k velkým finančním ztrátám jak na straně chovatelů, tak na straně jatek. Zkrácením výkrmu snižuje riziko vzniku kožních lézí a kančího pachu.

#### **2.4. Problematika výkrmu kanců**

Výkrm kanců je pozitivní z hlediska využití jejich růstového potenciálu, ale přináší s sebou negativa spojená především s výskytem agresivního chování, které má negativní dopad na welfare (Rydhmer et al. 2006). Agresivní chování má za následek vznik různých poranění, kožních lézí a v neposlední řadě může končit úhynem. Vyšší počet kožních lézí spojených s agresivním chováním se vyskytuje na začátku výkrmu, což je spojeno s vytvářením sociální hierarchie (Parois et al. 2018). Agrese mezi kanci se může projevovat během celého dne, ale ve větší míře je pozorována v době krmení. Stupeň agrese během krmení koreluje především s věkem zvířat (Rydhmer et al. 2006). Četnost agresivního chování se zvyšuje také v důsledku narušení sociální struktury zvířat. Bünger et al. (2015) pozorovali, že frekvence sexuálního a agresivního chování byla vyšší u kanečků po vyskladnění půlky prasat

ze skupiny. Narušení sociální struktury odstraněním půlky prasat ze skupiny ovlivnilo celkový počet agonistických interakcí mezi zvířaty. Kanečci vykazovali vyšší výskyt kožních lézí na krku a na kýtách před vyskladněním půlky zvířat na jatky a na plecích po vyskladnění půlky zvířat na jatky. Bünger et al. (2015) konstatují, že výkrm kanečků, bez negativních vlivů na jejich welfare, je možný, ale pouze s použitím ustájovacích podmínek této studie, tj. především krmení ad-libitum a nízká hustota osazení.

Zamaratskaia et al. (2005a) pozorovali, že stupeň agrese nesouvisel s žádnými změnami v souladu s pohlavním dospíváním kanců. Büttner et al. (2020) uvedli, že jedno zvíře (kanec) je považováno za dominantní nad jiným zvířetem, pokud vyhrává více soubojů než jeho soupeř. I když je rozdílnost kalkulace výher a proher v soubojích velmi důležitá, je opomíjená v mnoha studiích. Dále uvádějí, že významně dyadické kontakty odstavených selat byly minimální (12,4 % - 8,8 %), ve výkrmu (4,2 % nebo 0,6 %) a u prasniček (3,6 % - 0,4 %). Prunier et al. (2013) řešili vliv ustájení a ročního období na rozvoj puberty, složky kančího pachu a kožní léze u kanců. Výsledkem bylo zjištění, že hladiny androstenonu a skatolu v tuku a hmotnost varlat se nelišily mezi různými typy ustájení.

### **3. Vědecké hypotézy a cíle práce**

Na základě práce s odbornou literaturou byly pro disertační práci zvoleny následující vědecké hypotézy a tomu odpovídající cíle práce.

#### **3.1. Vědecké hypotézy**

1. Kojné prasnice, využité jako kojné na prvním vrhu, budou dosahovat zhoršené reprodukční užitkovosti na následujících vrzích vzhledem k delší době laktace spojené s vyčerpáním tělesných rezerv v porovnání s prasnicemi, které nebudou využity jako kojné na prvním vrhu.
2. Prasnice z intenzivního chovu budou díky maximalizaci jejich užitkovosti na prvních vrzích vyřazovány z chovu dříve než prasnice z extenzivního chovu bez negativního dopadu na rentabilitu chovu díky jejich dřívější návratnosti nákladů.
3. Ve slinách těžších a starších kanců budou přítomny vyšší hladiny  $5\alpha$ -androst-16-en-3-onu,  $5\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -olu a  $5\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -olu než ve slinách mladších a lehčích kanců.
4. Výživa kanců dietou s vyšším podílem slunečnice topinamburu bude mít pozitivní vliv na jejich růst, na kvalitu jatečně upraveného těla a na snížení složek zodpovědných za kančí pach oproti skupině kanců, kde bude podíl slunečnice topinambur ve výživě menší, nebo žádný.

#### **3.2. Cíle práce**

1. Porovnat reprodukční užitkovost prasnic využitých jako kojných na prvním vrhu s prasnicemi, které nebyly využity jako kojné.
2. Porovnat reprodukční užitkovost prasnic z extenzivního a intenzivního chovu.
3. Ověřit vztah mezi hladinami androstenonu ve slinách kanců a věkem kanců.
4. Ověřit účinky zkrmování slunečnice topinamburu na hladiny kančího pachu u vykrmovaných kanců.



## 4. Publikované práce

Tato disertační práce, zpracovaná na téma "Vliv vybraných způsobů managementu chovu na reprodukci prasnic a užitkové vlastnosti kanečků" a předkládaná formou souboru vědeckých článků, vznikla na základě níže uvedených třech publikací, publikovaných v časopisech databáze Web of Knowledge s Impact Factor indexem a jedné publikované práce v časopise databáze Scopus.

**4.1. Pokorná K, Čítek J, Zadinová K, Okrouhlá M, Lebedová N, Komosný M, Stupka R.** 2020. Influence of the use of nurse sows on their lifetime performance. Czech Journal of Animal Science **65**:97–103.

**4.2. Pokorná K, Čítek J, Zadinová K, Okrouhlá M, Lebedová N, Stupka R.** 2020. The effect of farming system type on piglet production. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis **68**:567–572.

**4.3. Pokorná K, Čítek J, Doležal P, Małopolska M, Tyra M, Okrouhlá M, Zadinová K, Šprysl M, Lebedová N, Stupka R.** 2022. Changes of androstenone concentrations in saliva of boars with age. Animals **12**:157.

**4.4. Okrouhlá M, Čítek J, Švejstil 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.

#### **4.1. Influence of the use of nurse sows on their lifetime performance**

**Pokorná K, Čítek J, Zadinová K, Okrouhlá M, Lebedová N, Komosný M, Stupka R.** 2020. Influence of the use of nurse sows on their lifetime performance. Czech Journal of Animal Science **65**:97–103.

<https://doi.org/10.17221/12/2020-CJAS>

## Influence of the use of nurse sows on their lifetime performance

KAMILA POKORNÁ<sup>1\*</sup>, JAROSLAV ČÍTEK<sup>1</sup>, KATEŘINA ZADINOVÁ<sup>1</sup>, MONIKA OKROUHLÁ<sup>1</sup>, NICOLE LEBEDOVÁ<sup>2</sup>, MICHAL KOMOSNÝ<sup>3</sup>, ROMAN STUPKA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Animal Science, Faculty of Agrobiography, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic

<sup>2</sup>Department of Cattle Breeding, Institute of Animal Science, Uhřetíněves, Czech Republic

<sup>3</sup>Czech Breeding Services, s. r. o., Grygov, Czech Republic

\*Corresponding author: [pokornakamila@af.czu.cz](mailto:pokornakamila@af.czu.cz)

**Citation:** Pokorná K., Čítek J., Zadinová K., Okrouhlá M., Lebedová N., Komosný M., Stupka R. (2020): Influence of the use of nurse sows on their lifetime performance. Czech J. Anim. Sci., 65: 97–103.

**Abstract:** Using nurse sows is a common practice for intensive pig farming because large numbers of piglets per litter result from intensive breeding. This aim of this study was to compare reproductive parameters of nurse sows and non-nurse sows in relation to subsequent reproductive performance. The study evaluated 463 breeding sows that produced at least one litter. The sows were divided into two groups: non-nurse sows (350 sows) and nurse sows (113 sows) at their first farrowing. The average length of first lactation was 35.12 days for nurse sows and 29.79 days for non-nurse sows. At first parity, nurse sows weaned 5.18% more piglets than did non-nurse sows ( $P < 0.05$ ). At second parity, nurse sows had 2.25% more live born piglets than did non-nurse sows. Nurse sows also had 9.59% more total live born piglets and they were removed from the breeding herd later (on average by 67.1 days) than were non-nurse sows. In conclusion, using sows as nurse sows in their first lactations provides a good solution when there are large numbers of piglets per litter, and this practice has no negative effect on sows' subsequent reproductive performance.

**Keywords:** lactating sow; farrowing; litter size; piglet; reproduction; wean

Maintaining reproduction at high levels is a crucial aspect of modern pork production (Rothschild 1996). The primary indicator of success in pig breeding is the number of piglets born per sow per year. A result of successful breeding programmes today is that the numbers of piglets per litter can exceed the numbers of teats per sow (Schmitt et al. 2018). This phenomenon can be related to the breeds that are commonly used in hybridisation programmes. Bobcek et al. (2003) reported that the number of live-born piglets of Large White was increasing, and Large White is today commonly used on most intensively managed pig farms. The average num-

ber of teats per sow is 14, and in the Czech Republic on average 17.8 piglets were born per litter per sow during 2017 (CZSO 2018). It is apparent that large numbers of piglets in litters can be maintained only when sows exhibit excellent milkiness. In any case, it should be noted that high numbers of piglets reduce the amount of milk available to each of them (Cabrera et al. 2010). A common practice for successfully rearing large numbers of piglets per litter is to use nurse sows. Nurse sows increase the survival of so-called “surplus” piglets. Bruun et al. (2016) defined a nurse sow as the sow that weans its own litter after a minimum of 21 days of lac-

Supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic (Project No. MSM 6046070901).

tation (Regulation 2008/120/EC) and then weans another litter of surplus piglets from another sow at minimally 21 days of lactation. *Alvasen et al. (2017)* reported that nurse sows were sows weaning their piglets while within one group of sows and subsequently were transferred to another group of sows located in another farrowing house. Here, sows received surplus piglets from other sows and weaned them at minimally 21 days of lactation. *Bruun et al. (2016)* found that nurse sows can be developed from suckling sows in one or two steps. In one step means that a nurse sow weans its own piglets at least at 21 days of lactation and then receives surplus newborn piglets from another sow and weans them at minimally 21 days of lactation. In two steps means that piglets of sow X are given at the age of 4–8 days to sow Y and sow X then receives newborn piglets from sow Z that are surplus within Z's own litter. Sow X weans them after a minimum of 21 days of lactation. It has been found that older piglets are better accepted by the nurse sows than are the newborn piglets. The result of nurse sows' weaning two litters each is prolonged lactation. Prolonged lactation in nurse sows can have a negative effect on animal welfare, because it can cause a loss of body reserves due to the high milk production (*Koketsu et al. 2017*). This was confirmed by *Alvasen et al. (2017)*, who reported that prolonged lactation worsened nurse sows' body condition while leading also to teat damage and leg ulcers, which negatively affected subsequent litter size. Prolonged lactation can cause a longer weaning-to-oestrus interval as well (*Koketsu et al. 2017*). Lactation length together with the weaning-to-oestrus interval affects subsequent litter size (*Dewey et al. 1994*), because of histological changes in the mammary tissue. Histological evaluation of the mammary gland showed a modest number of changes, although these changes were not differentiated between the groups of non-nurse sows and nurse sows (*Rekiel et al. 2007*). *Bruun et al. (2016)* also observed no differences between the groups in the same period when they became pregnant in the subsequent reproductive cycle. *Morrow et al. (1992)* observed that the number of piglets per litter was positively, but not linearly, associated with longer lactation length. According to *Le Cozler et al. (1997)*, in the case of a very short lactation length, the size of subsequent litter was materially smaller. Another study showed that longer lactation positively influenced the number of live born

piglets in the subsequent litter (*Xue et al. 1993*), and simultaneously that sows with longer lactations were culled later from the breeding herd (*Xue et al. 1997*). We hypothesised that prolonged first lactation in nurse sows has a negative effect on their subsequent litter size and lifetime performance due to the exhaustion of body reserves. The aim of this study was to compare subsequent reproductive parameters of nurse sows and non-nurse sows.

## MATERIAL AND METHODS

In this study, 463 breeding sows from a farm with intensive pig farming were evaluated. The evaluated pig farm used sows of DanBred genetics (cross-breds of Landrace × Yorkshire). Sows were fed twice a day complete compound feed. Sows were selected for the study only after they had been removed from the breeding herd, because data on lifetime performance were then known. The sows were divided into two groups: non-nurse sows and nurse sows at their first lactation. 350 sows were assigned among the non-nurse sows and 113 sows were assigned into the second group. Sows with better body condition that were evaluated subjectively by keepers were selected as nurse sows. Nurse sows weaned their own litter at the age of 21 days. Then the nurse sows got surplus piglets from another sow at the age of 8 days. Until that time surplus piglets were fed in their own litter thanks to split suckling. Nurse sows weaned the second litter after 14 days. Non-nurse sows weaned their piglets at the age 28 days. It was necessary to calculate the lactation length of those sows that were used as nurse sows after weaning their own litters. Average lifetime performance was determined for all sows, as measured by the sums of all live born and still-born piglets divided in each case by the litter number after which the sow was removed from the breeding herd. The selected sows were included in the breeding herd at an average age of 187.13 days, were inseminated for the first time at an average age of 231.16 days, and in some cases they remained in the breeding herd as long as through the eighth farrowing. The sows were inseminated in natural oestrus. All those sows evaluated produced at least one litter. Every reproductive cycle for every sow was recorded into the system from the time of sow's inclusion in the breeding herd until its removal. Sows were removed from

<https://doi.org/10.17221/12/2020-CJAS>

breeding after their two unsuccessful inseminations. Information was recorded about every insemination, farrowing, number of live born and still-born piglets and number of weaned piglets. Statistical evaluation was performed using the SAS statistical software (Statistical Analysis System, v9.4; SAS Institute, Cary, NC, USA). Analysis of variance and generalised linear models were used in evaluating the influence of individual effects (influence of using sows as nurse sows on their subsequent reproductive performance, influence of first litter size on lifetime performance of sows, and influence of sows' reproductive performance on sow longevity).

Subsequently, the following indicators were calculated and evaluated: least-squares means, standard deviations, standard errors of the means (SEM), and *P*-value (while setting statistical significance at  $\alpha = 0.05$ ).

## RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 contains information about the number of nurse sows and non-nurse sows at parity and their percentages. At the first lactation, 113 sows (24.41% of the total number) were used as nurse sows. For subsequent parities, the numbers of nurse sows decreased but their percentage in-

creased. At the second lactation, 101 sows (26.79%) were used as nurse sows. At the third to the fifth lactations, the situation remained similar like at the second lactation. The percentage of nurse sows in the herd was growing up to the fifth parity and then began to decrease. The high percentage of nurse sows at parity eight (35.29%) could be due to rather a low number of the original sows generally remaining in the study groups at that point.

Table 1 shows the average reproductive performance of non-nurse sows and nurse sows at their first farrowings. There were no significant differences in the number of live born piglets between the two groups or in the mean number of stillborn piglets. Nurse sows had, however, the 15.79% higher mean number of stillborn piglets at first farrowing. Nurse sows weaned 5.18% more piglets ( $P < 0.05$ ) from their own litters. More piglets weaned by nurse sows could be due to better condition score, better maternal characteristics, or good nutrition of sows and piglets. For example, Mei et al. (2019) observed that supplementing  $\gamma$ -aminobutyric acid to piglets' feed can improve the stress response of piglets and increase the number of weaned piglets. A selection criterion for becoming a nurse sow was the number of weaned piglets per sow from its own first litter (called here "litter A"). Nurse sows did not have less than 13 piglets of their own. Nurse sows weaned a mean of 13.23 piglets per first litter B (foster lit-

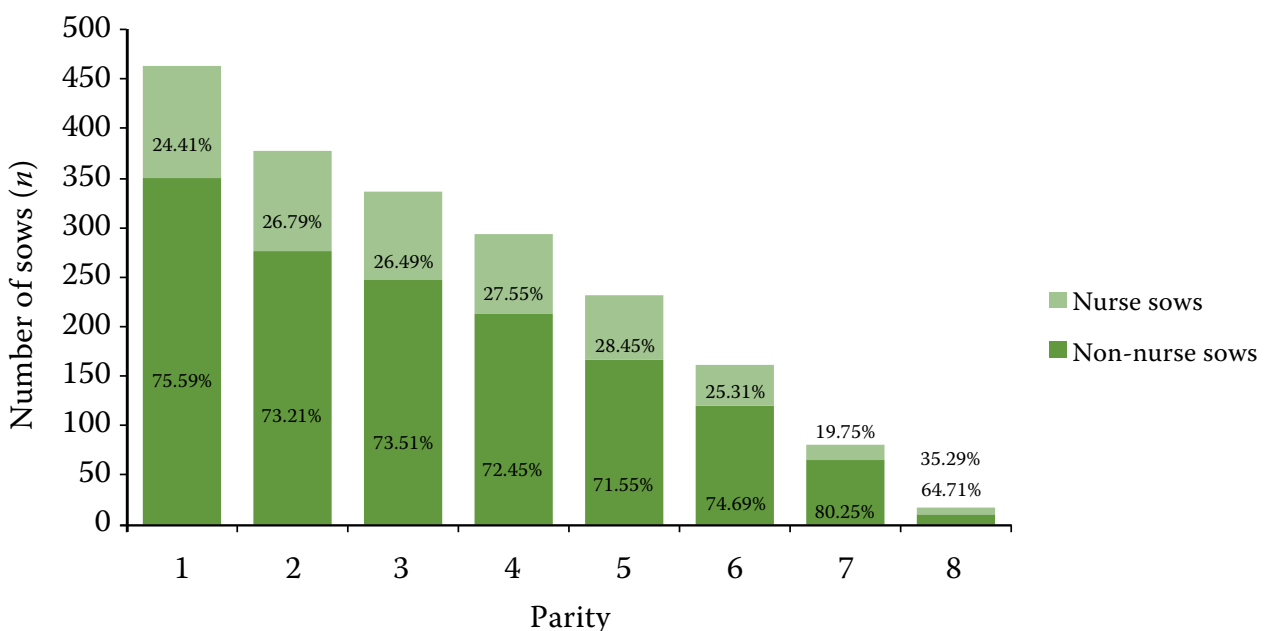


Figure 1. Number of nurse sows and non-nurse sows per individual litters

Table 1. Reproductive performance of non-nurse sows and nurse sows at first farrowing

Trait	Non-nurse sows				Nurse sows				P-value
	mean	minimum	maximum	SEM	mean	minimum	maximum	SEM	
	reproductive performance at first litter				reproductive performance at first litter				
Number of sows ( <i>n</i> )	350				113				
Live born piglets per first litter ( <i>n</i> )	14.58	4	20	0.15	14.37	3	20	0.26	0.483
Still-born piglets per first litter ( <i>n</i> )	0.16	0	3	0.03	0.19	0	4	0.05	0.634
Weaned piglets per first litter A ( <i>n</i> )	12.56	0	16.0	0.11	13.21	13	16	0.20	0.005
Weaned piglets per first litter B ( <i>n</i> )	–	–	–	–	13.23	9	16	–	–
Weaning-to-oestrus interval (days)	6.49	1	38	0.30	5.40	4	25	0.48	0.055
First lactation length (days)	29.79	2	46	0.31	35.12	10	45	0.55	0.001

Litter A = own weaned piglets; Litter B = weaned nurse piglets; SEM = standard error of the mean

ter). Therefore they weaned on average 26.44 piglets in total after the first farrowing. Nurse sows had the longer first lactation (on average by 5.33 days). Longer lactation duration is associated with better subsequent reproductive performance, and specifically with larger subsequent litter sizes (Xue et al. 1993). Hildago et al. (2014) found that the longer lactation of primiparous sows improves total piglets born and litter size at their subsequent farrowing. Extending the lactation length from 22 days to 25 days has been shown to provide better results in the litter size of sows at subsequent parity (Costa et al. 2004), and our study confirms this earlier finding. Sows used as nurse sows during their first lactations had a higher average number of live born piglets per second litter than did non-nurse sows. Nurse sows with prolonged lactation had the mean weaning-to-oestrus interval shorter by 1.09 day, although this difference was not found to be statistically significant. The longer period for uterine involution accompanying the prolonged

lactation might be beneficial, because uterine involution need not be completed yet in sows weaned at 21 days of lactation or less (Koketsu et al. 1999).

Table 2 describes the average reproductive performance of non-nurse sows and nurse sows at second parity. Greater loss of body reserves and reduction of backfat thickness can cause a lower number of live born piglets at subsequent parity and diminish lifetime performance. Koketsu et al. (2017) confirmed that prolonged lactation can cause nurse sows to lose too much of their body reserves due to high milk production. Lactation weight losses > 10% have a negative effect on subsequent reproductive performance (Thaker and Bilkei 2005). The body condition at weaning influences the subsequent litter size. Schenkel et al. (2010) reported that females weighing more than 178 kg, with backfat thickness  $\geq 16$  mm or with body fat  $\geq 21\%$  at weaning, had the larger second litters. On the other hand, Schmitt et al. (2018) found no differences between the two groups of

Table 2. Reproductive performance of non-nurse sows and nurse sows at second farrowing

Trait	Non-nurse sows				Nurse sows				P-value
	mean	minimum	maximum	SEM	mean	minimum	maximum	SEM	
	reproductive performance at second litter				reproductive performance at second litter				
Number of sows ( <i>n</i> )	276				101				
Live born piglets per second litter ( <i>n</i> )	16.04	0	23	0.20	16.41	8	25	0.32	0.330
Still-born piglets per second litter ( <i>n</i> )	0.26	0	14	0.06	0.18	0	2	0.09	0.446
Weaned piglets per second litter ( <i>n</i> )	12.21	0	16	0.17	11.89	0	15	0.28	0.325
Second lactation length (days)	28.61	0	51	0.44	28.70	0	46	0.72	0.911

SEM = standard error of the mean

<https://doi.org/10.17221/12/2020-CJAS>

sows when comparing body condition and severity of lesions during lactation. No significant difference in the number of live born piglets per second litter was observed in the present study. Nevertheless, the nurse sows had 2.25% more live born piglets than did non-nurse sows, and this is consistent with the study by Koketsu et al. (2017), who found that nurse sows had more piglets born alive at subsequent parity than did non-nurse sows. Better reproductive performance of nurse sows in this study could be caused by a longer period of involution due to the prolonged previous lactation. According to Vernunft et al. (2018), the problems of decreasing piglet weights and placental lengths are related with increasing litter size and they could cause complications during farrowing. Due to their prolonged lactations, nurse sows have more time to regain strength for the subsequent reproductive cycle. There was no statistically significant difference between groups in the mean number of stillborn piglets per second litter, although this number was 30.77% lower for nurse sows. For non-nurse sows, the number of still-born piglets was higher by 38.46% than at the first farrowing. Koketsu et al. (1999) observed that lower numbers of stillborn piglets are born from the second to the fourth litters. In this case, the higher number of stillborn piglets of non-nurse sows could be caused by complications during farrowing, human error at farrowing time, or health problems of sows. In a study on genetic parameters for piglet losses, Wolf and Wolfova (2012) found that 2% of the total variance in piglet deaths prior to weaning “was caused by permanent environmental effects of the sow”.

Table 3 documents the lifetime reproductive performance of non-nurse sows and nurse sows. There was no statistically significant difference in average age at first insemination between the two groups of sows. Differences between groups began to appear after the first farrowing. There was no statistically significant difference between the two groups in the mean number of lactations per lifetime, although the nurse sow group in fact had on average 0.41 (9.01%) more lactations. Bruun et al. (2016) reported that nurse sows’ longer lactations have no influence and no negative effects on the subsequent reproductive performance and that nurse sows wean more piglets and have higher numbers of total piglets born at their subsequent parities. This statement corresponds with the results of this study. There was no statistical difference in the mean number of total live born piglets per litter. According to Le Cozler et al. (1997), the size of a subsequent litter is lower in the case of a very short lactation length. Another study shows that total number of piglets per sow per year and number of live born piglets per sow per year are not significantly associated with the lengths of sows’ previous lactations (Xue et al. 1993). Some authors have also stated that higher numbers of litters correspond with higher numbers of stillborn piglets (Randall and Penny 1970; Leenhouwers et al. 1999; Koketsu et al. 2017). Simultaneously, there was no statistically significant difference in average numbers of total live born piglets. Nevertheless, nurse sows produced on average 7.04 (9.59%) more live born piglets during their lives. Serenius and Stalder (2004) reported that a higher number of weaned piglets in the first litter is a positive indicator

Table 3. Lifetime reproductive performance of non-nurse sows and nurse sows

Trait	Non-nurse sows				Nurse sows				P-value
	mean	minimum	maximum	SEM	mean	minimum	maximum	SEM	
	lifelong reproductive performance				lifelong reproductive performance				
Lactation ( <i>n</i> )	4.14	1	8	0.12	4.55	1	8	0.21	0.083
Age at first insemination (days)	230.71	149	287	0.74	232.53	210	290	1.31	0.226
Live born piglets, total ( <i>n</i> )	66.40	6	154	2.03	73.44	7	146	3.58	0.088
Live born piglets per litter ( <i>n</i> )	15.57	6	21.6	0.13	15.67	7	20.3	0.22	0.698
Still-born piglets per litter ( <i>n</i> )	0.30	0	7.5	0.03	0.27	0	1.8	0.05	0.571
Total weaned piglets per litter A	51.97	0	109	29.05	57.16	13	107	25.92	0,091
Total weaned piglets per litter B	–	–	–	–	19.58	9	52	–	–
Age at leaving herd (days)	867.20	359	1 474	17.09	934.27	376	1 482	30.08	0.053

Litter A = own weaned piglets; Litter B = weaned nurse piglets; SEM = standard error of the mean

<https://doi.org/10.17221/12/2020-CJAS>

for sow longevity and lifetime performance. This statement corresponds with the results from this study. Nurse sows used as nurse sows in their first lactations were removed from the breeding herd 67.1 days later, although this difference was not statistically significant. The results of this study show that prolonging the lactation of nurse sows has no negative effect on their subsequent and lifetime performance. In this study, nurse sows had higher average number of piglets per litter and simultaneously better subsequent reproductive performance. This could reflect good farm management, good sow health, or longer period of uterine involution.

## CONCLUSION

Sows used as nurse sows in their first lactations showed better lifetime reproductive performance than did non-nurse sows, had higher number of weaned piglets in the first litter, had indistinguishable or higher number of total live born piglets, and appear to have been removed somewhat later from the breeding herd than non-nurse sows. Prolonged lactation from using sows as nurse sows in their first lactation potentially appears to have a positive effect on the animals' subsequent and lifetime performance, and in any case it is an advantageous solution for addressing high numbers of piglets per litter. This can be a great benefit for intensive pig farming, because using sows as nurse sows at their first or later lactations enables piglets to survive that might not thrive among their littermates and the survival of these piglets is economically very important for farms.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

## REFERENCES

- Alvasen K, Hansson H, Emanuelson U, Westin R. Animal welfare and economic aspects of using nurse sows in Swedish pig production. *Front Vet Sci*. 2017 Dec 1;4:204.
- Bobcek B, Rehacek P, Matousek V. Analysis of reproduction and production parameters in dam populations of pigs and genealogical sire populations by means of M BLUP – AM method in Slovakia. *Czech J Anim Sci*. 2003 Apr 1;48(4):164-9.
- Bruun TS, Amdi C, Vinther J, Schop M, Strathe AB, Hansen CF. Reproductive performance of “nurse sows” in Danish piggeries. *Theriogenology*. 2016 Sep 1;86(4):981-7.
- Cabrera RA, Boyd RD, Jungst SB, Wilson ER, Johnston ME, Vignes JL, Odle J. Impact of lactation length and piglet weaning weight on long-term growth and viability of progeny. *J Anim Sci*. 2010 Jul;88(7):2265-76.
- Costa EP, Amaral Filha WS, Costa AHA, Carvalho FF, Santos AK, Silva AF. Influence of the lactation length in the subsequent litter size of sows. *Anim Reprod*. 2004 Oct-Dec;1(1):111-4.
- CZSO – The Czech Statistical Office. Pig breeding – 2<sup>nd</sup> half of 2018 [Internet]. Prague, Czech Republic: The Czech Statistical Office; 2018 [cited 2019 Feb 2]. Available from: <https://www.czso.cz/csu/czso/pig-production-2nd-half-of-2018>.
- Dewey CE, Martin SW, Friendship RM, Wilson MR. The effects on litter size of previous lactation length and previous weaning-to-conception interval in Ontario swine. *Prev Vet Med*. 1994 Feb 1;18(3):213-23.
- Hidalgo DM, Friendship RM, Greiner L, Manjarin R, Amezcua MR, Dominguez JC, Kirkwood RN. Influence of lactation length and gonadotrophins administered at weaning on fertility of primiparous sows. *Anim Reprod Sci*. 2014 Oct;149(3-4):245-8.
- Koketsu Y, Takahashi H, Akachi K. Longevity, lifetime pig production and productivity, and age at first conception in a cohort of gilts observed over six years on commercial farms. *J Vet Med Sci*. 1999 Sep;61(9):1001-5.
- Koketsu Y, Tani S, Iida R. Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. *Porcine Health Manag*. 2017 Jan 9;3(1):1-10.
- Le Cozler Y, Dagorn J, Dourmad JY, Johansen S, Aumaitre A. Effect of weaning-to-conception interval and lactation length on subsequent litter size in sows. *Livest Prod Sci*. 1997 Nov 1;51(1-3):1-11.
- Leenhouders JI, Van Der Lende T, Knol EF. Analysis of stillbirth in different lines of pig. *Livest Prod Sci*. 1999 Feb 1;57(3):243-53.
- Mei H, Yang CY, Xie O, Yang Y, Luo X, Jiao H, Gan L. Effects of  $\gamma$ -aminobutyric acid on aggressive behaviour, jejunum villus morphology, serum biochemical indicators and hippocampal neuropeptide mRNA levels in piglets at weaning with mixing. *Czech J Anim Sci*. 2019 April;64(4):151-9.
- Morrow WEM, Leman AD, Williamson NB, Morrison RB, Robinson RA. An epidemiological investigation of re-



<https://doi.org/10.17221/12/2020-CJAS>

- duced second-litter size in swine. *Prevent Vet Med.* 1992 Jan 1;12(1-2):15-26.
- Randall GCB, Penny RHC. Stillbirth in the pig: An analysis of the breeding records of five herds. *Br Vet J.* 1970 Nov;126(11):593-603.
- Rekiel A, Czuminska K, Wiecek J, Bielecki W, Kulisiewicz J. Functional state of mammary gland of sows dried off by different techniques. *Czech J Anim Sci.* 2007 Mar 1; 52(3):62-9.
- Rothschild MF. Genetics and reproduction in the pig. *Anim Reprod Sci.* 1996 Apr 1;42(1-4):143-51.
- Schenkel AC, Bernardi ML, Bortolozzo FP, Wentz I. Body reserve mobilization during lactation in first parity sows and its effect on second litter size. *Livest Sci.* 2010 Aug 1;132(1-3):165-72.
- Schmitt O, Baxter EM, Boyle LA, O'Driscoll K. Nurse sow strategies in the domestic pig: I. Consequences for selected measures of sow welfare. *Animal.* 2018 Jul 10; 13(3):580-9.
- Serenius T, Stalder KJ. Genetics of length of productive life and lifetime prolificacy in the Finnish Landrace and Large White pig populations. *J Anim Sci.* 2004 Nov;82(11): 3111-7.
- Thaker MYC, Bilkei G. Lactation weight loss influences subsequent reproductive performance of sows. *Anim Reprod Sci.* 2005 Sep;88(3-4):309-18.
- Vernunft A, Maass M, Brussow KP. Placental characteristics of German Landrace sows and their relationships to different fertility parameters. *Czech J Anim Sci.* 2018 Sep; 63(9):339-46.
- Wolf J, Wolfova M. Genetic parameters including the service sire effect for the sow traits stillbirth and piglet losses in Czech Large White and Landrace. *Czech J Anim Sci.* 2012 Sep;57(9):402-9.
- Xue JL, Dial GD, Marsh WE, Davies PR, Momont HW. Influence of lactation length on sow productivity. *Livest Prod Sci.* 1993 Apr 1;34(3-4):253-65.
- Xue JL, Dial GD, Marsh WE, Lucia T. Association between lactation length and sow reproductive performance and longevity. *J Am Vet Med Assoc.* 1997 Apr 1;210(7):935-8.

Received: January 20, 2020

Accepted: March 25, 2020

#### **4.2. The effect of farming system type on piglet production**

**Pokorná K**, Čítek J, Zadinová K, Okrouhlá M, Lebedová N, Stupka R. 2020. The effect of farming system type on piglet production. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **68**:567–572.

## THE EFFECT OF FARMING SYSTEM TYPE ON PIGLET PRODUCTION

Kamila Pokorná<sup>1</sup>, Jaroslav Čítek<sup>1</sup>, Kateřina Zadinová<sup>1</sup>, Monika Okrouhlá<sup>1</sup>,  
Nicole Lebedová<sup>2</sup>, Roman Stupka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Animal Science, Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 129, 165 00 Prague 6, Czech Republic

<sup>2</sup> Department of Cattle Breeding, Institute of Animal Science, Přátelství 815, 104 00 Prague - Uhřetěves, Czech Republic

Link to this article: <https://doi.org/10.11118/actaun202068030567>

Received: 19. 2. 2020, Accepted: 29. 4. 2020

To cite this article: POKORNÁ KAMILA, ČÍTEK JAROSLAV, ZADINOVÁ KATEŘINA, OKROUHLÁ MONIKA, LEBEDOVÁ NICOLE, STUPKA ROMAN. 2020. The Effect of Farming System Type on Piglet Production. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 68(3): 567–572.

### Abstract

Reproductive performance of sows is the main factor influencing the profitability of piglet production, and simultaneously it is a basic indicator of farm management quality. The aim of this study was to compare reproductive performance of sows from intensive and extensive feeder pig operations and the costs on those farms. Evaluated were 42 sows from extensive pig farming and 464 sows from intensive pig farming. Lifelong performance was determined for all sows. The study's results show that sows from intensive pig farming achieved a mean 2.04 fewer lactations per lifetime and were culled earlier ( $P < 0.0001$ ). The mean total number of live-born piglets was 11.59% lower among sows from intensive pig farming, but these sows achieved 23.35% ( $P < 0.0001$ ) higher mean number of piglets per litter. Despite shorter mean productive life, sows from intensive pig farming were more profitable. Maximizing the reproductive potential of sows has positive effect on farm profitability, and simultaneously it has no negative effect on sows' reproductive performance.

Keywords: profitability, reproduction, herd, sow, litter size, intensive farming, extensive farming

### INTRODUCTION

Reproductive performance of sows is one of the most important factors influencing the profitability of feeder pig production. Number of piglets per sow per year is a basic indicator determining the quality of farm management. Many factors – both external and internal – influence reproductive performance of sows, and, at the same time, farm profitability. Among these factors, for example, is age at first insemination. Very early insemination of gilts influences their lifelong performance (Babicz *et al.*, 2011). Recommendations for first insemination include that gilts should be inseminated for the first time at age 221–240 days (Babot *et al.*, 2003), if their weight is 135–150 kg (Williamse *et al.*, 2005), and when backfat thickness reaches 18–23 mm

(Roongsittichai and Tummaruk, 2014). Gilts' age at first insemination greatly influences farm profitability (Babot *et al.*, 2003). That impact may be especially important in the case of intensive feeder pig farming, where the very continuing existence of the farming operation may depend crucially on sufficient profitability. Age at first insemination affects especially the number of live-born piglets per first litter (Babicz *et al.*, 2011). As reported by Brzobohatý *et al.* (2015), a higher number of live-born piglets per first litter was achieved by sows inseminated at age 220–240 days and the number of live-born piglets also rose when the animals' backfat thickness was increasing at the same time. This information is very important for farmers seeking to maximize their sows' reproductive potential and

the profitability of their farms. Inseminating gilts at the wrong age will have negative effects on the animals' lifelong reproductive performance, and this has negative impacts on farm profitability (Szulc *et al.*, 2011).

It has been confirmed that sows have higher numbers of live-born piglets in their second litters (Beyga and Rekiel, 2010), and this number continues increasing until the fourth litter (Wähner, 2009). In the case of intensive pig farming, sows are most often culled after the third farrowing and sows are regarded as being at the top of their reproductive performance at the time of the third litter (Szulc *et al.*, 2011). Fifth and later litters typically have lower numbers of live-born piglets and unbalanced litters (Knecht and Duzinski, 2014), which characteristics are accompanied by lower profits and higher costs for measures to increase piglets' survival. It has been confirmed that piglet survival is lower in unbalanced litters. Piglets from sows in their sixth and later litters have the smallest probabilities of survival (Milligan *et al.*, 2002). An important rule for farmers is that no more than 20–25% of the total number of litters should be from sixth and later farrowings (Hellbrügge *et al.*, 2008).

Birth weight is an important factor influencing reproductive performance of sows and farm profitability. Piglet birth weight is influenced primarily by number of piglets per litter (Nogaj *et al.*, 2006). Škorput *et al.* (2018) observed that in large litters produced by prolific sows the variability of birth weight among the piglets increases together with the number of lighter piglets. This poses a substantial challenge for farmers. According to Nevrkla *et al.* (2017), pigs with higher birth weight reach slaughter weight earlier. That means it is economically more beneficial to have balanced litters with good birth weights. If a litter includes more than 13 piglets, piglet weights are lower and smaller piglets do not survive. This is primarily a problem in intensive pig farming.

The number of piglets per litter is one of multiple factors influencing sow longevity and recovering the costs for their rearing. Among the others are age at first farrowing, size of first litter, number of stillborn piglets per first litter, and backfat thickness. It has been reported that sows from extensive pig farming operations are culled later from the breeding herd because the animals receive more individual care from farmers and a longer period is required to recover their costs of rearing and maintenance (Hoge and Bates, 2011). Based on the literature, it was hypothesized that sows from intensive pig farming would result in earlier cost recovery than would sows from extensive pig farming and that they would be culled earlier from the breeding herd. The aim of this study was to compare reproductive performance of sows from intensive and extensive feeder pig operations and to model the costs of these farms.

## MATERIALS AND METHODS

Evaluated were 506 sows from two different types of pig farming operations. The first type was extensive, and 42 sows were evaluated from that group on a single farm. This farm keeps an open herd. The second type of pig farming was intensive, and 464 sows were evaluated from that group on another single farm. This farm keeps a closed herd. All evaluated sows were Czech Landrace × Czech Large White hybrids. Sows from both farms were fed a complete compound feed twice daily. So that their lifelong performance would be known, sows were selected based on their dates of culling from the farm. Only sows having had at least one litter were included. Information about reproductive cycles of sows was recorded in the farm system. The study also examined information about every insemination, farrowing, number of live-born piglets, number of stillborn piglets, and number of weaned piglets. Piglets were weaned at 28 days of age on both farms. Economic indicators for both farms were evaluated. Other indicators (purchase prices for gilts, costs per sow per year) were taken over from current costs as reported by the Costs of Agricultural Products database at the Czech Republic's Institute of Agricultural Economics and information (IAEI, 2018). The evaluation of economic indicators served only to model the influence of farm type on profitability. Cost assumptions were taken from the database.

Statistical evaluation was performed using SAS statistical software (Statistical Analysis System, version 9.4, 2012, SAS Institute, Cary, NC, USA). A generalized linear model procedure was used to evaluate the influence of individual effects for type of pig farming's effects on age at culling, total number of live-born piglets, age at first insemination, and number of live-born piglets per litter).

To evaluate these indicators, their values were calculated and evaluated as least squares means. Also calculated were standard errors of the mean (SEM), and P-values indicating statistical significance at level  $\alpha = 0.05$ .

## RESULTS

Tab. I shows reproductive performance of sows from the first to third litters. Sows from extensive pig farming achieved 29.57% lower mean number of live-born piglets per first litter ( $P < 0.0001$ ) and 16.12% ( $P < 0.0001$ ) fewer weaned piglets. Sows from extensive pig farming had 80.23% ( $P < 0.0001$ ) higher mean number of stillborn piglets per first litter. The first weaning to estrus interval was 5.15 days ( $P < 0.0001$ ) longer for sows from extensive pig farming. It is apparent from Tab. I that reproductive performance at the second litter was similar to reproductive performance at the first litter. Sows from intensive pig farming achieved

24.54% ( $P < 0.0001$ ) higher mean number of live-born piglets and weaned 9.32% more piglets. Sows from extensive pig farming had 75.26% ( $P < 0.0001$ ) higher mean number of stillborn piglets. The second weaning to estrus interval was 1.55 days longer for sows from extensive pig farming. At the third litter, sows from intensive pig farming achieved 20.89% ( $P < 0.0001$ ) higher mean number of live-born piglets and weaned 13.58% ( $P < 0.0001$ ) more piglets. The mean number of stillborn piglets at the third litter was 68.7% ( $P < 0.0001$ ) higher for sows from extensive pig farming. The third weaning to estrus interval was 4.54 days longer for sows from extensive pig farming. These results show that the extensive farming operation produced litters with more variable number of piglets. Under intensive

farming, by comparison, stricter selection and earlier culling of sows from the farm ensure that sows produce more balanced litters.

Tab. II shows the lifelong reproductive performance of sows from the two types of feeder pig operations. Sows from both farms were inseminated for the first time at approximately the same age. Sows from extensive pig farming were inseminated at mean 2.63 days later. These sows achieved 2.04 ( $P < 0.0001$ ) higher number of lactations and they were culled later from the breeding herd. Sows from extensive pig farming reached an 11.59% ( $P < 0.0001$ ) higher mean number of total live-born piglets. They produced higher numbers of piglets from their mean 6.29 lactations. Although sows from intensive pig

I: *Reproductive performance of sows from first to third litters*

Item	Extensive pig farming		Intensive pig farming		P-value
	Mean	SEM	Mean	SEM	
Number of sows (n)	42		464		
Reproductive performance at first litter					
Live-born piglets (n)	10.24	0.45	14.54	0.13	< 0.0001
Stillborn piglets (n)	0.86	0.16	0.17	0.02	< 0.0001
Weaned piglets (n)	10.67	0.24	12.72	0.10	< 0.0001
Weaning to estrus interval (days)	11.35	2.82	6.20	0.25	< 0.0001
Reproductive performance at second litter					
Number of sows	34		378		
Live-born piglets (n)	12.18	0.52	16.14	0.17	< 0.0001
Stillborn piglets (n)	0.97	0.25	0.24	0.05	< 0.0001
Weaned piglets (n)	11.00	0.31	12.13	0.14	0.0209
Weaning to estrus interval (days)	7.25	1.58	5.70	0.44	0.3085
Reproductive performance at third litter					
Number of sows (n)	33		337		
Live-born piglets (n)	13.33	0.63	16.85	0.19	< 0.0001
Stillborn piglets (n)	1.15	0.18	0.36	0.06	< 0.0001
Weaned piglets (n)	10.82	0.37	12.52	0.09	< 0.0001
Weaning to estrus interval (days)	9.00	2.41	4.46	0.51	0.0105

SEM – standard error of the mean

II: *Lifelong reproductive performance of sows from two different types of pig farming*

Item	Extensive farming		Intensive farming		P-value
	Mean	SEM	Mean	SEM	
Sows (n)	42		464		
Age at first insemination (days)	233.76	6.44	231.13	0.64	0.3606
Lactation (n)	6.29	0.55	4.25	0.10	< 0.0001
Live-born piglets total (n)	77.24	7.04	68.29	1.78	0.1543
Live-born piglets per litter (n)	11.95	0.34	15.59	0.11	< 0.0001

SEM – standard error of the mean.

## III: Profitability of two different types of pig farming

Item	Extensive farming	Intensive farming	Dif.
	Mean	Mean	
Purchase of gilt (CZK)	8,000	8,000	0
Costs of sow per year (CZK)	30,000	30,000	0
Litters (n)	6.29	4.25	-2.04
Turnover rate (litters/year)	2.39	2.46	0.06
Years in production (n)	2.62	1.73	-0.89
Lifetime costs of sow (CZK)	78,685	51,857	-26,828
Costs total (CZK)	86,685	59,857	-26,828
Piglets per sow per year (n)	28.58	38.95	10.37
Live-born piglets total (n)	77.24	68.29	-8.95
Revenue from pig sales (CZK)	77,240	68,290	-8,950
Profit total (CZK)	-9,445	8,433	17,878

Dif. = difference

farming produced 11.59% fewer piglets, they did so in a substantially shorter time (4.25 lactations) and simultaneously had 23.35% ( $P < 0.0001$ ) higher mean number of piglets per litter.

Tab. III shows economic measures and profitability for the two different types of pig farming. The purchase price for a gilt was assumed to be 8,000 CZK (IAEI, 2018), and this was the same for both groups. The mean costs per sow per year were calculated at 30,000 CZK (IAEI, 2018), and this also was the same for both groups. The numbers of lifetime litters per sow were different, as sows from extensive pig farming achieved 2.04 (32.43%) more lactations. Turnover rate differed by 0.07, with sows from extensive pig farming achieving a mean 2.39 litters per year and those from intensive pig farming 2.46 litters per sow per year. Sows from extensive pig farming had mean production life longer by 0.89 year. They remained a mean 2.62 years on the farm and represented lifetime costs of 78,685 CZK per sow. The mean productive life of sows from intensive pig farming was a shorter 1.73 years, and lifetime costs per sow were 51,857 CZK. Total costs here refer to lifetime costs attributable to the sow plus the gilt purchase price. For sows from extensive pig farming, these costs were a mean 86,685 CZK. That was 26,828 CZK more than for sows from intensive pig farming. Sows from extensive pig farming achieved 8.95 more total live-born piglets, which is 11.59% higher. This higher number of live-born piglets resulted in higher revenues from feeder pig sales. Feeder pigs after weaning were sold for 1,000 CZK. It was assumed that mean piglet weight at weaning was 8 kg and so the price per kilogram was 125 CZK (IAEI, 2018). Sows from extensive pig farming achieved 77,240 CZK in revenues from piglet sales, which was 8,950 CZK more per animal. Total profit, however, which means revenues from feeder pig

sales minus total costs, was higher for sows from intensive pig farming. This profit was 8,433 CZK for every sow from intensive pig farming. By contrast, every sow from extensive pig farming brought a loss of -9,445 CZK.

## DISCUSSION

Reproductive performance of sows is very important for the economics of feeder pig production (Aasmundstad *et al.*, 2014). Important targets for every producer are to minimize the unproductive days of sows and to maximize profit (Madej *et al.*, 2016). Sows that are culled earlier from the breeding herd have approximately 2.4 times higher litters than do sows that are culled later (Engblom *et al.*, 2009). The results of the present study accord with that earlier finding. Sows from intensive pig farming produced higher mean number of piglets per litter, and these sows were culled from the herd earlier than were sows from extensive farming. This could reflect the high reproductive potential of sows, due to which they are able to recover their own costs in less time. On the other hand, early culling of sows from the herd could be related to the high proportion of sows in their first litters, which can be hazardous to those animals. Already at first litter sows from the intensive farming operation had a high number of piglets, and this could be problem for subsequent reproductive performance and the sows' future profitability (Soede *et al.*, 2013). This was not confirmed by our results to be the case, however. A suitably chosen system for culling sows from the breeding herd causes balanced production (Beek *et al.*, 2014). In the present study it was observed that in extensive pig farming balanced production is ensured by retaining prolific sows in the breeding herd for a longer time. Sows from extensive pig

farming reached a mean 6.29 lactations per sow. In some unique cases, sows from extensive farming achieved as many as 12 lactations. A high number of lactations could reflect that such sows are producing large litter sizes and thereby ensuring sufficient profit for farmers. Sows from extensive pig farming had a mean 2.62 years in production. During this time, they accumulated costs of 86,685 CZK. The higher costs of these sows relate to the longer periods that they remained in the herd. On the other hand, sows from intensive pig farming had a mean 1.73 years in production and embodied costs lower by 26,828 CZK and totaling 59,857 CZK. Sows culled later than at the seventh litter could be poor mothers, have problems with milkiness, produce unbalanced litters, and more frequently crush their piglets, and all these aspects negatively influence farm profitability (Čeřovský, 2002). The sows evaluated in this study that achieved higher numbers of litters also had higher numbers of stillborn piglets, lower numbers of live-born piglets, and lower numbers of weaned piglets. This could reflect more frequent crushing of piglets, poorer milkiness of sows, or their production of unbalanced litters. Sows should be culled from the breeding herd after a maximum

of six lactations. Most often, sows are culled after their fourth farrowing (Dourmad *et al.*, 1994; Koketsu *et al.*, 1999). This was confirmed by this study only in one case. This statement is true for intensive pig farming, which aims to maximize the reproductive potential of sows already from their first litters. Such a breeding plan is economically advantageous for the farm. Serenius and Stalder (2004) have reported that higher numbers of piglets per litter have positive effect on the longevity and profitability of sows. It is apparent from this study that sows from intensive pig farming have higher numbers of piglets per year and are culled earlier. Sows from extensive pig farming, by contrast, have fewer piglets per litter and are culled later. It is also true, however, that lower numbers of piglets can mean those piglets born have higher birth weights, and Nevrkla *et al.* (2017) report that piglets with higher birth weights reach slaughter weight earlier. This could be a big advantage for farm profitability. Our results show that sows from the intensive pig farm achieved a mean lifetime profit advantage of 17,878 CZK over sows from the extensive pig farm. This higher profit is what matters decisively for the farms.

## CONCLUSION

Sows from intensive farming had better reproductive performance and greater profitability than did sows from extensive farming, despite that their reproductive potential was maximized and they were culled earlier from the herd. This earlier culling under intensive versus extensive pig farming was possible because maximizing the animals' high reproductive potential brought earlier recovery of the costs of rearing and maintaining those animals in the breeding herd. This is important for all pig farms. Maximizing sows' reproductive potential can positively affect farm profitability without negatively impacting reproductive performance. Farm profitability is very important today, and, regardless of the farming system in use, it is important to have excellent knowledge of the biological principles of sows' reproductive potential and properly to use that knowledge to avoid negatively affecting sow health and reproductive performance. Particularly in the case of extensive pig farming, it is economically very important to practice good management to minimize pig losses.

## Acknowledgements

This study was supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic (Project No. MSM 6046070901) and by the project (NAZV: QJ1510191).

## REFERENCES

- AASMUNDSTADT, T., OLSEN, D., SEHESTED, E. *et al.* 2014. The genetic relationships between conformation assessment of gilts and sow reproduction and longevity. *Livestock science*, 167: 33–40.
- BABICZ, M., REJDUCH, B., KOUBSKA-SOBOCIŃSKA, A. *et al.* M. 2011. Analysis of sexual activity in gilts in terms of their reproductive value. *Annals of Animal Science*, 11(2): 241–250.
- BEEK, J., DE JONG, E., VAN SOOM, A. *et al.* 2011. Ovarian cysts in sows: a multifactorial disorder with consequences on the reproductive performance. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, 80(3): 215–222.
- BABOT, D., CHAVEZ, E. R. and NOGUERA, J. L. 2003. The effect of age at the first mating and herd size on the lifetime productivity of sows. *Animal Research*, 52(1): 49–64.
- BEYGA, K. and REKIEL, A. 2010. The effect of the body condition of late pregnant sows on fat reserves at farrowing and weaning and on litter performance. *Archiv Fur Tierzucht-Archives of Animal Breeding*, 53(1): 50–64.

- BRZOBOHATÝ, L., STUPKA, R., ČÍTEK, J. *et al.* 2015. The effect of the backfat thickness loss on reproduction in lactating sows. *Journal of Central European Agriculture*, 16(2): 1–9.
- ČEŘOVSKÝ, J. 2002. Higher piglet production per sow is a step in the right direction [in Czech: Vyšší produkce selat na prasnici je krok správným směrem]. *Farmář*, 8: 41–43.
- DOURMAD, J. Y., ETIENNE, M., PRUNIER, A. *et al.* 1994. The effect of energy and protein-intake of sows on their longevity – a review. *Livestock production science*, 40(2): 87–97.
- ENGBLOM, L., LUNDHEIM, N., SCHNEIDER, M. D. *et al.* 2009. Genetics of crossbred sow longevity. *Animal*, 3(6): 783–790.
- HELLBRÜGGE, B., TÖLLE, K. H., BENNEWITZ, J. *et al.* 2008. Genetic aspects regarding piglet losses and the maternal behaviour of sows. Part 1. Genetic analysis of piglet mortality and fertility traits in pigs. *Animal*, 2(9): 1273–1280.
- HOGUE, M. D. and BATES, R. O. 2011. Developmental factors that influence sow longevity. *Journal of Animal Science*, 89(4): 1238–1245.
- KNECHT, D. and DUZIŃSKI, K. 2014. The effect of parity and date of service on the reproductive performance of Polish large white x Polish landrace (PLW x PL) crossbred sows. *Annals of Animal Science*, 14(1): 69–79.
- KOKETSU, Y., TAKAHASHI, H. and AKACHI, K. 1999. Longevity, lifetime pig production and productivity, and age at first conception in a cohort of gilts observed over six years on commercial farms. *Journal of veterinary medical science*, 61(9): 1001–1005.
- MADEJ, A., LANG, A., BRANDT, Y. *et al.* 2005. Factors regulating ovarian function in pigs. *Domestic animal endocrinology*, 29(2): 347–361.
- MILLIGAN, B. N., FRASER, D. and KRAMER, D. L. 2002. Within-litter birth weight variation in the domestic pig and its relation to pre-weaning survival, weight gain, and variation in weaning weights. *Livestock Production Science*, 76(1–2): 181–191.
- NEVRKLA, P., VÁCLAVKOVÁ, E., HADAŠ Z. *et al.* 2017. Effect of Birth Weight of Piglets on Their Growth Ability, Carcass Traits and Meat Quality. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 65(1): 0119–0123.
- NOGAJ, J., JARCZYK, A. and KOWALEWSKI, D. 2006. The effect of selected factors on litter and piglet weight at the age of 21 days. *Animal Science Papers and Reports*, 24(1): 93–101.
- ROONSITTHICHAI, A. and TUMMARUK, P. 2014. Importance of back-fat thickness to reproductive performance in female pigs. *Thai journal of veterinary medicine*, 44(2): 171–178.
- SERENIUS, T. and STALDER, K. J. 2004. Genetics of length of productive life and lifetime prolificacy in the Finnish Landrace and Large White pig populations. *Journal of animal science*, 82(11): 3111–3117.
- ŠKORPUT, D., DUJMOVIĆ, Z., KAROLYI, D. *et al.* 2018. Variability of birth weight and growth of piglets in highly prolific sows. *Journal of Central European Agriculture*, 19(4): 823–828.
- SOEDE, N. M., HOVING, L. L., VAN LEEUWEN, J. J. J. *et al.* 2013. The second litter syndrome in sows; causes, consequences and possibilities of prevention. In: *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Pig Reproduction*. Satellite Symposium. Olsztyn, Poland, 9–12 June. Olsztyn: Satellite Symposium, pp. 28–34.
- SZULC, K., SKRZYPCZAK, E., PANEK, A. *et al.* 2011. Analysis of reproduction and litter performance of the Zlotnicka Spotted breed and its different crossbreeds. *Italian Journal of Animal Science*, 10(4): 184–187.
- IAEI. 2018. Cost of agricultural products [in Czech: Nákladovost zemědělských výrobků]. IAEI. [Online]. Available at: <https://www.uzei.cz/nakladovost-zemedelskych-vyrobku/> [Accessed: 2018].
- WÄHNER, M. and BRÜSSOW, K. P. 2009. Biological potential of fecundity of sows. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 25(5–6): 523–533.
- WILLIAMS, N. H., PATTERSON, J. and FOXCROFT, G. 2005. Non-negotiables in gilt development. *Advances in Pork Production*, 16: 281–289.

#### Contact information

Kamila Pokorná: pokornakamila@af.czu.cz



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 \(CC BY-NC-ND 4.0\) International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)












#### **4.3. Changes of androstenone concentrations in saliva of boars with age**

**Pokorná K**, Čítek J, Doležal P, Małopolska M, Tyra M, Okrouhlá M, Zadinová K, Šprysl M, Lebedová N, Stupka R. 2022. Changes of androstenone concentrations in saliva of boars with age. *Animals* **12**:157.

## Article

# Changes of Androstenone Concentrations in Saliva of Boars with Age

Kamila Pokorná <sup>1,\*</sup>, Jaroslav Čítek <sup>1</sup>, Petr Doležal <sup>1</sup>, Martyna Małopolska <sup>2</sup>, Mirosław Tyra <sup>2</sup>,  
Monika Okrouhlá <sup>1</sup>, Kateřina Zadinová <sup>1</sup>, Michal Šprysl <sup>1</sup>, Nicole Lebedová <sup>1</sup> and Roman Stupka <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Animal Science, Faculty of Agrobiological Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, 165 00 Prague, Czech Republic; citek@af.czu.cz (J.Č.); dolezal1@af.czu.cz (P.D.); okrouhla@af.czu.cz (M.O.); zadinova@af.czu.cz (K.Z.); sprysl@af.czu.cz (M.Š.); lebedova.nicole@vuzv.cz (N.L.); stupka@af.czu.cz (R.S.)

<sup>2</sup> Department of Pig Breeding, National Research Institute of Animal Production, 2 Sarego Street, 31-047 Krakow, Poland; martyna.malopolska@iz.edu.pl (M.M.); miroslaw.tyra@iz.edu.pl (M.T.)

\* Correspondence: pokornakamila@af.czu.cz

**Simple Summary:** Pork is one of the most consumed meats worldwide. In many countries, pork is produced only from gilts or barrows because of the presence of boar taint in boar's meat. Boar taint is an unpleasant odour, which is present in the meat and fat of boars. This odour is related to the increasing age and body weight of boars. The absence of boar taint in the final product can be achieved by castration of boars. Regarding the welfare of the animals, it would be appropriate to find a non-invasive, reliable, and working method for the determination of boar taint during the fattening of boars. Androstenone, which is one of the main compounds responsible for boar taint, can be determined from saliva. This method appears to be a hopeful way to predict individuals with a high level of this compound. Based on the current knowledge, the early slaughter of boars could be a suitable and functional step to avoid boar taint in the meat or fat, respectively. This is a pilot study that is focused on the non-invasive determination of boar taint on live animals. In the future, this method could be simplified and adjusted for use in farm conditions.

**Abstract:** With the increasing age of boars, the possibility of androstenone ( $5\alpha$ -androst-16-en-3-one (AND),  $5\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol ( $\alpha$ -AND), and  $5\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol ( $\beta$ -AND)) occurrence increases as well. The aim of this study was to evaluate concentrations of androstenone compounds in the saliva of boars concerning the age of animals. In total, 72 boars were evaluated (24 boars per replication). The effect of age (three different ages—152, 163, and 172 days) was observed, and (Landrace  $\times$  Large White)  $\times$  Pietrain genotypes were used. Chemical analysis of saliva samples was conducted by multidimensional gas chromatography/mass spectrometry (MDGC/MS). Salivary  $\alpha$ -AND increased with age ( $p < 0.05$ ), and positive correlations were found between age and submaxillary salivary gland weight ( $p < 0.05$ ), age, and salivary AND concentration ( $p < 0.05$ ), body weight and submaxillary salivary gland weight ( $p < 0.05$ ), submaxillary salivary gland weight and salivary  $\beta$ -AND concentration ( $p < 0.05$ ), as well as submaxillary salivary gland weight and total salivary  $5\alpha$ -androstenone (AND total) concentration ( $p < 0.001$ ). Nowadays, animal welfare is becoming a more and more discussed topic, and pig breeding is not an exception. Specifically, the castration ban is a current issue, so it is very important to know as much as possible about compounds responsible for boar taint. Androstenone's appearance in boars' saliva could be one of the most important precursors for future early detection of boar taint.

**Keywords:** boar taint; entire male pig; salivary gland; steroid hormone; welfare



**Citation:** Pokorná, K.; Čítek, J.; Doležal, P.; Małopolska, M.; Tyra, M.; Okrouhlá, M.; Zadinová, K.; Šprysl, M.; Lebedová, N.; Stupka, R. Changes of Androstenone Concentrations in Saliva of Boars with Age. *Animals* **2022**, *12*, 157. <https://doi.org/10.3390/ani12020157>

Academic Editors: Joris Michiels and John-Erik Haugen

Received: 25 November 2021

Accepted: 6 January 2022

Published: 10 January 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Boar's bodies go through many changes with age to ensure their reproductive ability. These include changes in anatomy, behaviour, and, of course, hormone production [1].

In relation to pork meat production, very important are hormonal changes. As boars age, there is a growing possibility for heightened production of compounds responsible for boar taint [2]. Boar taint is an odour or taste that can be evident during the cooking or eating of pork products derived from noncastrated male pigs [3–5]. One of these compounds is the hormone androstenone, which causes an unpleasant “urine-like” odour in pork. Androstenone is a steroid hormone produced by Leydig cells [6–8] together with testosterone. It is stored in adipose tissue or secreted by the salivary glands into the saliva. Saliva is produced in boars by three main pairs of salivary glands: the parotid, submaxillary, and sublingual glands [9]. It is predominantly the submaxillary salivary glands that are associated with the metabolism of the boar taint compound androstenone. These salivary glands do not contain the andien- $\beta$  synthetase system that is necessary for the synthesis of 5,16-androstadien-3 $\beta$ -ol from pregnenolone. Therefore, they are not able to synthesise steroids from this precursor [10], but they are able to metabolise all steroids transported to them from circulating blood [11]. Boars’ submaxillary salivary glands possess the enzyme system needed for the transformation of 5,16-androstadien-3 $\beta$ -ol to 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol and 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol. It is this ability that enables a boar’s saliva to contain high concentrations of 5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one, 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol, and 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol during sexual excitement [12,13]. The concentration of androstenone in the saliva of boars is primarily dependent upon the onset of puberty, it is related to age and live weight of boars, and it is greatly individual [14,15]. During puberty, levels of steroid hormones begin to increase, causing changes in sexual and aggressive behaviour in boars [16]. Levels of androstenone in the saliva of boars are related to the basic manifestations of sexual behaviour. Its “urine-like” odour makes androstenone in saliva a pheromone [17]. The presence of androstenone in saliva results in the lordosis reflex in a sow when she is in oestrus. This signals when is the right time for sows to mate or be inseminated. Therefore, the role of androstenone in saliva is very important. Androstenone pathways in salivary glands are known [18], but the question remains as to how androstenone’s concentration in the saliva of boars increases with age. Positive correlations between the weight of submaxillary salivary gland and age, between the weight of testis and the weight of submaxillary salivary glands, and between the concentration of 5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one and the weight of submaxillary salivary glands were observed [19]. However, no results about the levels of androstenone in the saliva of boars were reported. With a goal of improving animal welfare, researchers most often rely on obtaining saliva from animals in order to analyse specific compounds. Collecting saliva from boars for analyses is a non-invasive method of the future. The aim of this study was to evaluate the relationship between androstenone concentrations in boars’ saliva and their age. Based upon the literature, it was hypothesised that, due to the effective enzyme system in their submaxillary salivary glands, there should occur increasing levels of 5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one, 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol, and 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol in saliva in relation to age.

## 2. Materials and Methods

All experimental procedures were approved by the Ethics Committee of the Central Commission for Animal Welfare at the Ministry of Education Youth and Sports of the Czech Republic (Prague, Czech Republic) and were carried out in accordance with Directive 2010/63/EU regarding animal experiments and Local Ethics Commission, case number 13/2018. The experiment was conducted in the Demonstration and Experimental Centre at the Czech University of Life Sciences Prague (CZ11760061/01).

### 2.1. Animals

In the present study, three replications of the experiment design were used. We evaluated 72 boars (24 boars per replication). Moreover, we studied three different ages of boars (8 boars per age). Boars ((Landrace  $\times$  Large White)  $\times$  Pietrain) were housed individually under identical conditions in the Demonstration and Experimental Centre of the Czech University of Life Sciences Prague. In the Demonstration and Experimental

Centre, standard EU microclimatic conditions were secured, which remove the effects of the season. The average floor area per boar was a minimum of 1 m<sup>2</sup>. Boars were fed ad libitum with complete compound feed. The first group were slaughtered at the age of 152 days and average live weight of 105.20 kg (SEM = 2.769 kg), the second group at the age of 163 days and average live weight of 119.30 kg (SEM = 1.531 kg), and the third group at the age of 172 days and average live weight of 133.50 kg (SEM = 4.394 kg). The age of slaughtering was chosen based on reaching the standard slaughter weight of boars and based on the average age of slaughtered pigs in the EU (150–180 days).

## 2.2. Post-Mortem Sample Collection

Samples of adipose tissue and submaxillary salivary glands were taken post-mortem for testing. Samples of adipose tissue were collected 24 h after slaughter in the area between the first and third cervical vertebrae. The weight of the average sample was 30 g. The samples were packed without skin and muscles and stored in a freezer at  $-80^{\circ}\text{C}$ . The analysis of the androstenone levels in the adipose tissue was performed using HPLC (Jasco LC-2000, Watrex Praha, s.r.o., Prague, Czech Republic) described by methodology [20]. To determine androstenone levels, an Agilent Eclipse XDB C18 column (5  $\mu\text{m}$ , 150  $\times$  4.60 mm ID) operated at  $40^{\circ}\text{C}$  was used. The parameters of the mobile phase were: (A) tetrahydrofuran: acetonitrile: sodium phosphate buffer (25 mM): acetic acid (34: 23.8: 41.4: 0.8) and (B) methanol. Fluorescence detection was performed with excitation at 346 nm and emission at 521 nm. The standard calibration curve was used to determine the content of androstenone in the samples. The observations were evaluated using the programme ChromNAV (ver. 1.18.04.) [20]. ChromNAV (ver. 1.18.04.)

## 2.3. Saliva Sample Collection

Saliva was collected on cotton wool tampons one week before slaughtering. It was ensured that the boars had no access to water or food for approximately 15 min before saliva collection. Tampons with absorbed saliva (3 mL) were placed into individual plastic bags, and saliva was pressed out from the tampons. After collection, saliva was stored in glass tubes at  $-80^{\circ}\text{C}$  to ensure the stability of androstenone [21,22].

## 2.4. MDGC-MS Analyses

Saliva samples were processed in the laboratories of the Department of Animal Science at the Czech University of Life Sciences Prague. The chemical analysis was conducted by multidimensional gas chromatography/mass spectrometry (MDGC/MS). The MDGC/MS set up included two GC-2010 ovens (Shimadzu, Kyoto, Japan) and columns with two different stationary phases. The compounds 5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one (AND), 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol ( $\alpha$ -AND), and 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol ( $\beta$ -AND) were determined from the saliva while following the modified methodology described by Dehnhard et al. [23]. The samples of saliva were analysed using a 50 m FS-Supreme-5 ms capillary column. Ultrapure helium was used as a carrier gas, with a column head pressure setting of 41 kPa. The injection temperature was  $300^{\circ}\text{C}$ . The MS acquisition was performed in SIM by monitoring the ions  $m/z$  272 for 5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one,  $m/z$  274 for 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol ( $\alpha$ -AND), and 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol ( $\beta$ -AND) and  $m/z$  202 for 5 $\alpha$ -androst-3-one (internal standard). A calibration line and constant amount of internal standard were used for quantification [23].

## 2.5. Statistical Analysis

Statistical evaluation was performed in SAS (Statistical Analysis System, version 9.4, 2012; SAS Institute, Cary, NC, USA). A generalised linear model procedure was used for evaluating individual effects (i.e., the effect of age on the submaxillary salivary gland's weight, effect of age on salivary AND concentration, effect of age on salivary  $\alpha$ -AND concentration, effect of age on salivary  $\beta$ -AND concentration, and effect of age on AND concentration in adipose tissue). The Pearson correlation coefficient was used for evaluating correlation.

The following indicators were calculated and evaluated: least-squares means, standard errors of the means, and  $p$ -values (while setting statistical significance at  $\alpha \leq 0.05$ ).

### 3. Results

#### 3.1. Effect of Age on Androstenone Concentrations in Saliva and Adipose Tissue of Boars

Statistically significant differences among groups were observed and are presented in Table 1. The weight of submaxillary salivary glands increases with age ( $p < 0.05$ ). The concentration of salivary AND increases with age ( $p < 0.05$ ). The highest concentration of AND was in the oldest group of boars. The increasing concentration of salivary  $\alpha$ -AND also was determined in relationship with the increasing age of boars. The highest concentration of  $\alpha$ -AND was found in the oldest group of boars. The oldest boars reached the highest levels of androstenone concentration, and statistically significant differences among groups were found in concentrations of total salivary AND ( $p < 0.05$ ). The level of total salivary AND concentration increased with boars' age. No differences among groups were observed in levels of AND in adipose tissue.

**Table 1.** Comparison of groups of boars as of slaughter date for levels of AND,  $\alpha$ -AND, and  $\beta$ -AND.

Scheme 152	152 (n = 24)		163 (n = 24)		172 (n = 24)	
	Mean	SEM <sup>1</sup>	Mean	SEM <sup>1</sup>	Mean	SEM <sup>1</sup>
Live weight (kg)	105.20	2.769	119.30	1.531	133.50	4.394
SMG <sup>2</sup> weight (g)	23.30 <sup>B</sup>	2.614	27.97 <sup>AB</sup>	6.405	41.70 <sup>A</sup>	4.800
Salivary AND <sup>3</sup> ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	0.001 <sup>B</sup>	0.001	0.002 <sup>AB</sup>	0.002	0.009 <sup>A</sup>	0.005
Salivary $\alpha$ -AND <sup>4</sup> ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	0.012	0.006	0.019	0.007	0.026	0.032
Salivary $\beta$ -AND <sup>5</sup> ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	0.017	0.002	0.022	0.008	0.018	0.004
Salivary AND <sup>6</sup> total ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	0.030 <sup>B</sup>	0.009	0.043 <sup>AB</sup>	0.012	0.053 <sup>A</sup>	0.037
AND <sup>3</sup> in adipose tissue ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	3.678	2.327	3.491	1.870	4.974	1.703

<sup>1</sup> SEM—standard error of the mean. Superscripts (AB) indicate statistically significant differences (with  $p \leq 0.05$ ). <sup>2</sup> SMG—submaxillary gland. <sup>3</sup> AND—5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one. <sup>4</sup>  $\alpha$ -AND—5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol. <sup>5</sup>  $\beta$ -AND—5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol. <sup>6</sup> AND total—5 $\alpha$ -androstenone total.

#### 3.2. The Relationships between Studied Indicators

Table 2 describes the relationships among the various indicators. Positive correlations were observed between most indicators. Strong positive correlations were observed between age and submaxillary salivary gland weight ( $p < 0.001$ ), age and salivary AND concentration ( $p < 0.001$ ), body weight and submaxillary salivary gland weight ( $p < 0.001$ ), submaxillary salivary gland weight and salivary  $\beta$ -AND concentration ( $p < 0.01$ ), as well as submaxillary salivary gland weight and total salivary AND concentration ( $p < 0.001$ ).

**Table 2.** Correlation coefficients between studied indicators.

Item	Age	Body Weight	SMG <sup>1</sup> Weight	Salivary AND <sup>2</sup>	Salivary $\alpha$ -AND <sup>3</sup>	Salivary $\beta$ -AND <sup>4</sup>	Salivary AND Total <sup>5</sup>
Age	1.000						
Body weight	0.816	1.000					
SMG <sup>1</sup> weight	0.902	0.872	1.000				
Salivary AND <sup>2</sup>	0.887	0.650	0.771	1.000			
Salivary $\alpha$ -AND <sup>3</sup>	0.559	0.460	0.747	0.511	1.000		
	0.059	0.133	0.013	0.090	0.000		

Table 2. Cont.

Item	Age	Body Weight	SMG <sup>1</sup> Weight	Salivary AND <sup>2</sup>	Salivary $\alpha$ -AND <sup>3</sup>	Salivary $\beta$ -AND <sup>4</sup>	Salivary AND Total <sup>5</sup>
Salivary $\beta$ -AND <sup>4</sup>	0.358	0.404	0.857	0.341	0.468	1.000	
	0.254	0.193	0.002	0.279	0.125	0.000	
Salivary AND total <sup>5</sup>	0.695	0.575	0.882	0.682	0.959	0.628	1.000
	0.012	0.050	0.001	0.015	0.001	0.029	0.000
AND <sup>2</sup> in adipose tissue	0.328	0.617	0.274	0.263	−0.200	0.024	−0.083
	0.298	0.033	0.443	0.410	0.534	0.941	0.797

<sup>1</sup> SMG—submaxillary gland. <sup>2</sup> AND—5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one. <sup>3</sup>  $\alpha$ -AND—5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol. <sup>4</sup>  $\beta$ -AND—5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol. <sup>5</sup> AND total—5 $\alpha$ -androstenone total.

#### 4. Discussion

The mean level of salivary  $\alpha$ -AND of German Landrace boars was 0.18  $\mu\text{g}/\text{mL}$  [23]. In our study, the mean measured concentrations of  $\alpha$ -AND were 0.012  $\mu\text{g}/\text{mL}$  for the youngest boars, 0.019  $\mu\text{g}/\text{mL}$  for a middle group of boars, and 0.026  $\mu\text{g}/\text{mL}$  for the oldest boars. The levels of salivary  $\beta$ -AND were more balanced between groups. The mean level of salivary  $\beta$ -AND of German Landrace was 0.02  $\mu\text{g}/\text{mL}$  [23]. Additionally, in this study, the mean measured levels of  $\beta$ -AND were 0.017  $\mu\text{g}/\text{mL}$  for the youngest boars, 0.022  $\mu\text{g}/\text{mL}$  for a middle group, and 0.018  $\mu\text{g}/\text{mL}$  for the oldest boars. The differences could be caused by using different breeds and hybrids with different seasonality in these studies. Walstra et al. [24] observed higher levels of androstenone in adipose tissue of pigs during the summer in most European countries. Next significant breed differences in 16-androstenes levels among Duroc, Hampshire, Landrace and Yorkshire were reported [25]. For the next evaluation, it would be good to compare groups of most used hybrid boars because of their routine use in fattening. According to Hurden et al. [26], in testis, there predominates a reduction in AND to its 3 $\beta$  isomer so that the saliva contains lower levels of  $\beta$ -AND. Booth [27] had reported that the concentration of  $\beta$ -AND exceeded that of  $\alpha$ -AND in post-pubertal testes and that  $\alpha$ -AND is the dominant component in submaxillary salivary glands at all ages. This was confirmed by our results only in one case, as the oldest boars had higher levels of  $\alpha$ -AND in saliva than of the  $\beta$  isomer.

Our results confirmed previous studies, which showed the concentration of 5 $\alpha$ -androstenone has a tendency to increase as boars become older and heavier [28]. The oldest boars reached the highest levels of androstenone concentration, and statistically significant differences among groups were found in concentrations of total salivary AND ( $p < 0.05$ ). Booth et al. [19] had confirmed a positive correlation between 5 $\alpha$ -androstenone concentration in the salivary gland and the submaxillary salivary gland weight. The lowest levels of androstenone in salivary glands are related to the smallest salivary glands. Similarly, positive correlations between age and submaxillary salivary gland weight ( $p < 0.001$ ), age, and salivary AND concentration ( $p < 0.001$ ) were observed. Moreover, positive relationships were found between body weight and submaxillary salivary gland weight ( $p < 0.001$ ), submaxillary salivary gland weight and salivary  $\beta$ -AND concentration ( $p < 0.01$ ), as well as submaxillary salivary gland weight and total salivary 5 $\alpha$ -androstenone concentration ( $p < 0.001$ ). Babol et al. [29] further stated positive correlations among 16-androstene steroids and synthesis of oestrogens and androgens. Booth et al. [19] had reported positive correlations between age and submaxillary salivary gland weight and stated that the submaxillary salivary gland's weight increases with body weight and age, which is consistent with our results. Babol et al. [30] observed positive correlations between the concentrations of 16-androstene steroids in salivary glands and androstenone in fat. Positive correlations of boar taint compounds between different types of tissues offer the possibility to expand the field of research. For the future, it would be appropriate to measure androstenone as well as skatole for boar taint detection. More studies need to be executed to completely understand this problem.

## 5. Conclusions

In terms of animal welfare requirements and the possibility of a ban on castration, it is very important to know as much as possible about compounds responsible for boar taint. To recapitulate, salivary 5 $\alpha$ -androst-16-ene-3-one increases with boar age, and its appearance in boars' saliva could be one of the most important precursors for future early detection of boar taint. We found the possibility of using this non-invasive method to examine androst-16-ene-3-one concentration in boars' saliva, which could improve animal welfare in fattening and meet both the consumers' and pork producers' expectations.

**Author Contributions:** Conceptualisation, K.P. and J.Č.; methodology, K.P. and P.D.; software, J.Č.; validation, K.Z., M.O. and M.M.; resources, N.L.; writing—original draft preparation, K.P.; writing—review and editing, J.Č., P.D., M.O., K.Z., M.M., M.T., N.L., M.Š. and R.S.; visualisation, J.Č.; supervision, R.S. and M.T. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This work was supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic (Project No. QK1910217 and Project No. QK1910400) and by the Internal Grant Agency of the Czech University of Life Sciences Prague (SGS) (Project No. SV21-6-21320).

**Institutional Review Board Statement:** The study was conducted according to the guidelines of the Czech Republic government. All experimental procedures were approved by the Ethics Committee of the Central Commission for Animal Welfare at the Ministry of Education Youth and Sports of the Czech Republic (Prague, Czech Republic) and were carried out in accordance with Directive 2010/63/EU regarding animal experiments and Local Ethics Commission, case number 13/2018. The experiment was conducted in a Demonstration and Experimental Center of the Faculty of Agrobiological Sciences, Food and Natural Resources at the Czech University of Life Sciences Prague (CZ21038206).

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** The data presented in this study are available on a request from the corresponding author.

**Acknowledgments:** This study was carried out with the assistance of the Demonstration and Experimental Centre of the Faculty of Agrobiological Sciences, Food, and Natural Resources, Czech University of Life Sciences, Prague.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Franca, L.R.; Silva, V.A., Jr.; Chiarini-Garcia, H.; Garcia, S.K.; Debeljuk, L. Cell proliferation and hormonal changes during postnatal development of the testis in the pig. *Biol. Reprod.* **2000**, *63*, 1629–1636. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Zamaratskaia, G.; Rydhmer, L.; Chen, G.; Madej, A.; Andersson, H.K.; Lundström, K. Boar Taint is Related to Endocrine and Anatomical Changes at Puberty but not to Aggressive Behaviour in Entire Male Pigs. *Reprod. Domest. Anim.* **2005**, *40*, 500–506. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Keenan, D.F. *Encyclopedia of Food and Health*, 1st ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2016; p. 4006.
4. Patterson, R.L.S. 5 $\alpha$ -androst-16-ene-3-one: Compound responsible for taint in boar fat. *J. Sci. Food Agr.* **1968**, *19*, 31–38. [[CrossRef](#)]
5. Bonneau, M.; Le Denmat, M.; Vaudelet, J.C.; Veloso Nunes, J.R.; Mortensen, A.B.; Mortensen, H.P. Contributions of fat androst-16-ene-3-one and skatole to boar taint: I. Sensory attributes of fat and pork meat. *Livest. Prod. Sci.* **1992**, *32*, 63–80. [[CrossRef](#)]
6. Desmoulin, B.; Bonneau, M.; Frouin, A.; Bidard, J.P. Consumer testing of pork and processed meat from boars: The influence of fat androst-16-ene-3-one level. *Livest. Prod. Sci.* **1982**, *9*, 707–715. [[CrossRef](#)]
7. Saat, Y.A.; Gower, D.B.; Harrison, F.A.; Heap, R.B. Studies on the metabolism of 5 $\alpha$ -androst-16-ene-3-one in boar testis in vivo. *Biochem. J.* **1974**, *144*, 347–352. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
8. Raeside, J.I.; Renaud, R.L. Estrogen and androgen production by purified Leydig cells of mature boars. *Biol. Reprod.* **1983**, *28*, 727–733. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
9. Gröschl, M. The physiological role of hormones in saliva. *Bioessays* **2009**, *31*, 843–852. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
10. Claus, R. Pheromone bei Säugetieren unter besonderer Berücksichtigung des Ebergeruchsstoffes und seiner Beziehung zu anderen Hodensteroiden. *Z. Tierphysiol. Tierernähr.* **1979**, *10*, 100–136. (In German)
11. Wood, P. Salivary steroid assays—Research or routine? *Ann. Clin. Biochem.* **2009**, *46*, 183–196. [[CrossRef](#)]
12. Katkov, T.; Booth, W.D.; Gower, D.B. The metabolism of 16-androst-16-ene-3-one in boar salivary glands. *Biochim. Biophys. Act.* **1972**, *270*, 546–556. [[CrossRef](#)]
13. Booth, W.D. Factors affecting the pheromone composition of voided boar saliva. *J. Reprod. Fertil.* **1987**, *81*, 427–431. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

14. Bonneau, M. Compounds responsible for boar taint with special emphasis on androstenone: A review. *Livest. Prod. Sci.* **1982**, *9*, 687–705. [[CrossRef](#)]
15. Prunier, A.; Bonneau, M.; Etienne, M. Effects of age and live weight on the sexual development of gilts and boars fed two planes of nutrition. *Reprod. Nutr. Dev.* **1987**, *27*, 689–700. [[CrossRef](#)]
16. Cronin, G.M.; Dunshea, F.R.; Butler, K.L.; Mccauley, I.; Barnett, J.L.; Hemsworth, P.H. The effects of immuno- and surgical-castration on the behaviour and consequently growth of group-housed, male finisher pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2003**, *81*, 111–126. [[CrossRef](#)]
17. Perry, C.G.; Patterson, R.L.S.; Macfie, H.J.H.; Stinson, C.G. Pig courtship behaviour: Pheromonal property of androstene steroids in male submaxillary secretion. *Anim. Prod.* **1980**, *31*, 191–199. [[CrossRef](#)]
18. Brooks, R.I.; Pearson, A.M. Steroid hormone pathways in the pig, with special emphasis on boar odor: A review. *J. Anim. Prod.* **1986**, *62*, 632–645. [[CrossRef](#)]
19. Booth, W.D.; Diane Williamson, E.; Patterson, R.L.S. 16-androstene steroids in the submaxillary salivary gland of the boar in relation to measures of boar taint in carcasses. *Anim. Prod.* **1986**, *42*, 145–152. [[CrossRef](#)]
20. Okrouhlá, M.; Stupka, R.; Čítek, J.; Urbanová, D.; Vehovský, K.; Kouřimská, L. HPLC stanovení androstenonu, skatole a indolu ve hřbetním tuku u prasat. *Chem. Listy*. **2016**, *110*, 593–597. (In Polish)
21. Aardal, E.; Holm, A.C. Cortisol in saliva—Reference ranges and relation to Cortisol in serum. *Eur. J. Clin. Chem. Clin. Biochem.* **1995**, *33*, 927–932. [[CrossRef](#)]
22. Garde, A.H.; Hansen, A.M. Long term stability of salivary cortisol. *Scand. J. Clin. Lab. Investig.* **2005**, *65*, 433–436. [[CrossRef](#)]
23. Dehnhard, M.; Rohrmann, H.; Kauffold, J. Measurement of 16-Androstenes (5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one, 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol, 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol) in Saliva of German Landrace and Göttingen Minipig Boars. *Chem. Sig. Vert.* **2013**, *12*, 381–389. [[CrossRef](#)]
24. Walstra, P.; Claudi-Magnussen, C.; Chevillon, P.; von Seth, G.; Diestre, A.; Matthews, K.R.; Homer, D.B.; Bonneau, M. An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: Levels of androstenone and skatole by country and season. *Livest. Prod. Sci.* **1999**, *62*, 15–28. [[CrossRef](#)]
25. Xue, J.; Dial, G.D.; Holton, E.E.; Vickers, Z.; Squires, E.J.; Lou, Y.; Godbout, D.; Morel, N. Breed differences in boar taint: Relationship between tissue levels boar taint compounds and sensory analysis of taint. *J. Anim. Sci.* **1996**, *74*, 2170–2177. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Hurden, E.L.; Gower, D.B.; Harrison, F.A. Biosynthesis of 16-androstenes and androgens in boar testis in vivo. *J. Endocrinol.* **1979**, *81*, 161–162.
27. Booth, W.D. Changes with age in the occurrence of C19 steroids in the testis and submaxillary gland of the boar. *J. Repro. Biotech. Fert.* **1975**, *42*, 459–472. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Ruszczyc, Z.; Fuchs, B.; Schleicher, A.; Skorupinska, J. Fattening of boars. In *Roczniki Naukowe Zootechniki. Monografie i Rozprawy*; National Research Institute of Animal Production: Krakow, Poland, 1981; pp. 211–219.
29. Babol, J.; Squires, E.J.; Lundström, K. Relationship between metabolism of androstenone and skatole in entire male pigs. *J. Anim. Sci.* **1999**, *77*, 84–92. [[CrossRef](#)]
30. Babol, J.; Squires, E.J.; Bonneau, M. Factors regulating the concentrations of 16-androstene steroids in submaxillary salivary glands of pigs. *J. Anim. Sci.* **1996**, *74*, 413–419. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]





#### **4.4. The effect of dietary *Helianthus tuberosus* L. on the populations of pig faecal bacteria and the prevalence of skatole**

Okrouhlá M, Čítek J, Švejstl 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.

Article

# The Effect of Dietary *Helianthus tuberosus* L. on the Populations of Pig Faecal Bacteria and the Prevalence of Skatole

Monika Okrouhlá <sup>1,\*</sup> , Jaroslav Čítek <sup>1</sup>, Roman Švejstl <sup>2</sup>, Kateřina Zadinová <sup>1</sup> ,  
Kamila Pokorná <sup>1</sup>, Daniela Urbanová <sup>1</sup> and Roman Stupka <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Animal Science, Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague, 16500 Prague, Czech Republic; citek@af.czu.cz (J.Č.); zadinova@af.czu.cz (K.Z.); pokornakamila@af.czu.cz (K.P.); urbanovad@af.czu.cz (D.U.); stupka@af.czu.cz (R.S.)

<sup>2</sup> Department of Microbiology, Nutrition and Dietetics, Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague, 16500 Prague, Czech Republic; svejstl@af.czu.cz

\* Correspondence: okrouhla@af.czu.cz; Tel.: +42-022-438-2309

Received: 6 March 2020; Accepted: 14 April 2020; Published: 16 April 2020



**Simple Summary:** The elimination of boar taint by a method other than surgical castration without anaesthesia is currently one of the main topics in pig research. Boar taint occurs in meat from some entire male pigs and is undesirable for sensitive consumers. Boar taint is mainly caused by skatole. Skatole is produced by the breakdown of proteins by intestinal bacteria and can be stored in meat and reduce its sensory quality (taste and odour). Boar taint can be reduced by a diet high in easily fermentable saccharides, such as Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). These saccharides change the bacterial colonisation in the intestines and thus reduce the production of skatole. The aim of this study was to evaluate the effects of different levels of Jerusalem artichoke on performance, carcass composition and skatole and indole levels in adipose tissue and on microbiota in faecal samples. In the present study, Jerusalem artichoke had no negative effect on the growth performance or carcass value in male pigs. Moreover, Jerusalem artichoke led to decreased skatole levels in the adipose tissue, probably due to the decreased level of proteolytic bacteria, which cause a higher rate of skatole production in the gastrointestinal tract. It seems that a dietary concentration of 8.1% of Jerusalem artichoke fed 13 days before slaughter is a sufficient dose for decreasing the skatole levels to those of castrated males, and this approach could be an alternative to the surgical castration of male pigs.

**Abstract:** Jerusalem artichoke contains inulin polysaccharide, which has prebiotic effects and influences the microbiota of the digestive tract. The addition of Jerusalem artichoke in boar diets may decrease the content of skatole and indole, which are the main constituents of boar taint, and may also negatively affect the taste and odor. The objective of this study was to evaluate the effects of different levels of *Helianthus tuberosus* L. (*H. tuberosus*) in feed mixtures on performance, carcass composition, the levels of microbiota in faecal samples, and the concentrations of skatole and indole in adipose tissue. The study was performed with 47 crossbred entire male pigs of the Large White <sub>sire</sub> × (Large White <sub>dame</sub> × Landrace) genotype fed a basal diet with 0%, 4.1%, 8.1% or 12.2% *H. tuberosus* for 13 days before slaughter. Significant differences in daily weight gain and daily feed intake were found ( $p = 0.045$ ), with the values being lower in the group with the highest level of *H. tuberosus*. In addition, increasing levels of *H. tuberosus* decreased the concentration of skatole in the adipose tissue ( $p = 0.003$ ). The highest level of *H. tuberosus* decreased the level of *Escherichia coli* ( $p \leq 0.001$ ) in the faeces. The enterococcal count increased ( $p = 0.029$ ) in groups with a diet that included 4.1% and 8.1% *H. tuberosus*. There was also a significant correlation between the concentration of *H. tuberosus* and the concentration of *E. coli* ( $p < 0.001$ ;  $-0.64$ ) and the skatole levels in the adipose tissue ( $p = 0.001$ ;  $-0.46$ ). Moreover, there was also a positive correlation between the concentration of *E. coli* and the

skatole levels in the adipose tissue ( $p = 0.023$ ;  $0.33$ ). In conclusion, feeding pigs with *H. tuberosus* leads to decreased levels of skatole in the adipose tissue. According to the results of our study, a diet with 8.1% *H. tuberosus* is sufficient for decreasing skatole levels, which could be due to the decreased levels of pathogenic bacteria in the intestines.

**Keywords:** inulin; skatole; microbiota; *Escherichia coli*; entire male

---

## 1. Introduction

Boar taint and its elimination are among the problems associated with entire male pigs. At present, the European Union aims to ban surgical castration without anaesthesia. The use of lidocaine-based local analgesia is time consuming and costly and may also induce stress to the animals due to extra handling [1]. It is important to focus on other strategies to decrease boar taint. The high concentrations of some compounds cause distinctive boar taint in entire male pigs. Specifically, these compounds include androstenone, indole and skatole [2,3]. Androstenone is a steroid with an odour typical of urine. It is synthesised in testes and metabolised in the liver [4]. Skatole, which is formed by tryptophan degradation in anaerobic conditions, has a characteristic offensive faecal odour. It is produced in the gastrointestinal tract (GIT), where L-tryptophan is cleaved by *Escherichia coli*, clostridia and lactobacilli in the intestines. Most of these bacteria are able to metabolise tryptophan to indole and indole acetic acid, which is the main precursor of skatole. Indeed, only a small quantity of intestinal bacteria, i.e., less than 0.01%, is able to catalyse the decarboxylation of indole acetic acid to skatole [5]. Skatole is typically metabolised in the liver in two phases. In boars, there is insufficient metabolisation of androstenone and skatole in the liver; therefore, these substances accumulate in the adipose tissue [6]. Consumer sensitivity to boar taint depends on the individuality of the person. In general, women tend to be more sensitive to the boar taint than men [7].

To some extent, the production of skatole in the gastrointestinal tract can be influenced by nutrition. Skatole formation can be reduced when the diet of animals is supplemented with a high quantity of easily fermentable saccharides, which are not digested by enzymes in the small intestine [8]. These saccharides are prebiotics; thus, oligosaccharides support the activity and growth of Bifidobacteria and inhibit the growth of the bacteria involved in skatole and indole formation, e.g., *E. coli* and *Clostridium* spp. [9]. One of these oligosaccharides with prebiotic function is inulin, which passes in intact form through the upper to the lower parts of the gastrointestinal tract, where it undergoes bacterial fermentation and is able to change the microbial diversity [10]. The end products of bacterial fermentation are gases, such as carbon dioxide and hydrogen, lactate and short-chain fatty acids (i.e., acetate, propionate and butyrate). It is widely accepted that the presence of inulin is able to change the composition of microbiota in the colon in favour of specific bacterial groups, such as Bifidobacteria [9,11]. These changes in bacterial fermentation in the colon could result in the reduction of some potentially pathogenic bacteria and thus the reduction of skatole production [12].

Chicory root and *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke) are examples of inulin sources, and these plants have a high inulin content. Many studies have demonstrated that providing feed with chicory or pure inulin influenced the content of skatole in the excrement, blood and adipose tissue of animals [13–15]. Furthermore, previous studies have shown that diets with chicory roots, dried chicory or pure inulin significantly decreased skatole in adipose tissue to levels equivalent to those of castrated males [16–18]. According to some studies, feeding inulin to pigs could also have a beneficial influence on growth performance, especially on daily weight gain [19,20].

Many authors have monitored the effect of chicory root on the skatole levels in adipose tissue; however, there is limited information on the effect of *H. tuberosus*, which has a comparable inulin content to that of chicory and a similar effect on boar taint. Therefore, the objective of this study was to

investigate the effect of different levels of *H. tuberosus* on growth performance, carcass quality, skatole and indole concentrations in adipose tissue and on microbiota composition.

## 2. Materials and Methods

The feeding experiment was conducted at the Ploskov Test Station, the external workplace of the Department of Animal Husbandry of the Czech University of Life Sciences Prague, in the Czech Republic. The experiment was approved by the Ethics Committee of the Central Commission for Animal Welfare at the Ministry of Agriculture of the Czech Republic and was carried out in accordance with Directive 2010/63/EU for animal experiments. The local Ethics Commission, case number 02/2018, approved all the procedures described in this study.

### 2.1. Diet and Animals

In the experiment, a total of 72 crossbred entire male pigs of the Large White<sub>sire</sub> × (Large White<sub>dame</sub> × Landrace) (LW<sub>S</sub> × (LW<sub>D</sub> × L)) genotype were used. Two animals were housed in each pen, and 36 pens were used. The average initial weight was 46.6 kg, and the average slaughter weight was 112.1 kg. The pigs were separated into four dietary treatments, and each treatment received a different diet: a basal diet containing extracted soya bean, wheat and barley meal and feed additive (premix); the basal diet +4.1% *H. tuberosus*; the basal diet +8.1% *H. tuberosus*; or the basal diet +12.2% *H. tuberosus*. *H. tuberosus* used in the diets was dried and milled (particle size ≤ 2 mm). The content of pure inulin was determined based on the analysis of the dried *H. tuberosus*. The basal diet was formulated according to the nutrient needs of the animals and fed ad libitum. The chemical compositions of the diet and dried *H. tuberosus* are shown in Table 1. The animals had free access to water throughout the course of the experiment. The animals were fed the basal diet between 93 and 140 days old. This period was followed by a 13-day period (from 140 to 153 days old) before slaughter, during which the dried and milled *H. tuberosus* was homogenously mixed into the basal diet for each experimental group every day. The animals were slaughtered at the age of 153 days. The pigs were housed in pairs in pens (with concrete floor grates) designed for feeding (1 feeder for 2 pigs), and the average daily feed intake was observed. The average daily weight gain was observed by weighing the animals once a week. At the end of the experiment, all pigs were weighed. Based on an average body weight (average ± 5 kg), 11–13 pigs from each treatment were selected. All selected pigs were close to mean weight of each treatment. Selected pigs were slaughtered at a commercial slaughterhouse and subjected to analyses.

**Table 1.** Analysed chemical composition of the basal diet and *H. tuberosus*.

Nutrient Composition	Basal Diet	<i>H. tuberosus</i>
Dry matter (%)	90.95	90.00
Crude protein (%)	14.18	8.57
Ether extract (%)	1.06	0.33
Crude fibre (%)	3.63	3.51
Crude ash (%)	4.58	7.47
N-free extract (%)	67.50	70.12
Fructans (%)	-	55.76
MEp (MJ/kg)	13.25	13.79

MEp: metabolizable energy for pigs [21].

### 2.2. Sample Collection

For the microbiological analysis, 0.5 g of uncontaminated fresh faeces was collected from the rectum of each animal one day before slaughter. The samples were collected in sterile tubes with 9 mL of an anaerobic solution containing nutrient broth and tryptone (Oxoid Ltd., Basingstoke, UK) in an oxygen-free environment developed by injecting carbon dioxide into the tube. The faecal samples were immediately processed for microbiological analysis. For the analyses of the skatole and indole, samples

of adipose tissue were collected from the neck region 24 h post-mortem and frozen at  $-80^{\circ}\text{C}$  until the analyses. The hot carcass weight and lean meat percentage (i.e., using a two-point (ZP) method) were measured 45 min post-mortem at the slaughterhouse.

### 2.3. Skatole and Indole Analyses

The analysis of the skatole and indole concentrations in the adipose tissue was performed using HPLC (Jasco LC-2000, Watrex Praha, s.r.o., Prague, Czech Republic) based on a method described by [22].

For the skatole and indole determination, a Kinetex C18 100A ( $5\ \mu\text{m}$ ,  $50 \times 4.60\ \text{mm ID}$ ) column was used at a  $40^{\circ}\text{C}$  operating temperature. The mobile phase parameters were as follows: A—potassium phosphate buffer (10 mM) and B—methanol. The gradient profile programme was as follows: 0–0.2 min, 90% A; 0.2–6.0 min, 90%–55% A; 6.0–7.0 min, 55%–0% A. The column flow was 1.2 mL/min, with an injection volume of  $30\ \mu\text{L}$ . Fluorescence detection was performed with excitation at 285 nm and emission at 340 nm. For the determination of skatole and indole from the sample, a standard calibration curve was used.

For skatole and indole content, the proportion of samples above the detection level was calculated.

### 2.4. Microbial Analysis

The plate count method was used to evaluate the composition of the faecal microbiota. The groups of bacteria tested are shown in Table 2. The total counts and bifidobacteria were cultivated at  $37^{\circ}\text{C}$  for 48 h in anaerobic conditions using the AnaeroGen anaerobic generation system (Oxoid Ltd., Basingstoke, UK). The lactobacilli were cultivated under microaerophilic conditions using the double-layered plate method at  $37^{\circ}\text{C}$  for 48 h. The enterococci were cultivated aerobically at  $37^{\circ}\text{C}$  for 48 h, and the *E. coli* and coliform bacteria were cultivated aerobically at  $37^{\circ}\text{C}$  for 24 h. The cultivation medium for each group of bacteria is shown in Table 2.

**Table 2.** Cultivation media used.

Group Tested	Cultivation Medium
Total counts of anaerobic bacteria	Wilkins–Chalgren anaerobe agar with the addition of soy peptone (W + S)
Bifidobacteria	W+S supplemented with mupirocin (100 mg/L) and glacial acetic acid (1 mL/L)
Lactobacilli	Rogosa agar supplemented with glacial acetic acid (1.32 mL/L)
Enterococci	Slanetz–Bartley agar
<i>E. coli</i> and coliform bacteria	TBX agar

All media were purchased from Oxoid® (Oxoid Ltd., Basingstoke, UK). TBX: tryptone bile x-glucuronide medium.

### 2.5. Statistical Analysis

One-way analysis of variance (ANOVA) with the *H. tuberosus* content in diet as the fixed factor was used. Live weight, carcass weight and pen had no significant effect on evaluated characteristics, and therefore they were not included in the final model. The data were evaluated using the general linear model (GLM) procedure in SAS (version 9.04, Statistical Analysis System, Toronto, ON, Canada). The significance of the variance between the groups was tested using the Scheffe test. The significance level was  $p \leq 0.05$  for all the measurements. A Pearson correlation analysis was used to test for correlations. Residuals were checked for normality and were distributed normally.

Testing of significant differences was carried out according to the following mathematical statistical one-way analysis model:

$$Y_i = \mu + d_i + e_i \quad (1)$$

where:

$Y_i$  = value of the trait;

$\mu$  = overall mean;

$d_i$  = effect of the *H. tuberosus* content in diet ( $i = 1, 2, 3, 4$ );

ei = random residual.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Growth Performance and Carcass Traits

The effects of the *H. tuberosus* concentration in the diet on growth performance and carcass traits are presented in Table 3. With regard to growth performance, a significantly lower ( $p = 0.042$ ) daily weight gain (DWG) was found in the group with the highest amount of *H. tuberosus* compared with that of the other groups. On the other hand, Houdijk et al. [23], who studied the use of fructooligosaccharides in feed and their influence on growth performance, did not find any significant differences between groups fed with or without non-digestible oligosaccharides. Nevertheless, these results are in contrast to studies by Grela et al. [19] and Wang et al. [24], who found significantly higher daily weight gains and lower feed conversion ratios in pigs fed a diet supplemented with inulin. The decrease in the DWG ( $p = 0.042$ ) in the group fed 12.2% *H. tuberosus* could be explained by the decreased daily feed intake in this group, which may have been caused by the presence of substances that altered the organoleptic properties of the feed mixture.

The amount of *H. tuberosus* in the diet had no significant influence on carcass traits, which is in agreement with the results reported by Vhile et al. [25], who found no significant differences between groups fed with or without *H. tuberosus*.

**Table 3.** The effect of the dietary *Helianthus tuberosus* L. concentrations on the growth performance and carcass traits of entire males.

Levels of Dietary <i>H. tuberosus</i>	Control (n = 11)	4.1% (n = 12)	8.1% (n = 11)	12.2% (n = 13)	SEM	p-Value
	Means	Means	Means	Means		
Live weight at 93 days (kg)	46.6	46.9	46.1	46.0	0.69	0.968
Live weight at 153 days (kg)	112.1	114.4	113.3	109.0	1.14	0.354
DWG (g)	1184.3 <sup>a</sup>	1176.1 <sup>a</sup>	1194.8 <sup>a</sup>	1084.4 <sup>b</sup>	16.14	0.042
DFI (kg)	2.65 <sup>a</sup>	2.66 <sup>a</sup>	2.66 <sup>a</sup>	2.37 <sup>b</sup>	0.015	0.045
FCR (kg/kg)	2.24	2.26	2.23	2.19	0.011	0.935
Carcass weight (kg)	86.5	86.2	86.3	83.1	1.02	0.581
Dressing yield (%)	77.2	75.4	76.2	76.2	0.51	0.677
Backfat thickness (mm)	13.8	13.5	14.3	13.5	0.36	0.844
Lean meat share (%)	68.2	67.3	68.7	63.5	0.76	0.053

DWG: daily weight gain; DFI: daily feed intake; FCR: feed conversion ratio; DWG, DFI and FCR were evaluated between 93 and 153 days of age; <sup>a, b</sup> Means with different superscripts differ significantly; SEM: standard error of the mean.

#### 3.2. Skatole and Indole Concentrations in the Adipose Tissue

The effects of the *H. tuberosus* concentration in the diet on the skatole and indole concentrations in the adipose tissue are presented in Table 4. No significant effect was found on the concentrations of indole. These results are in accordance with those of previous studies, which found no significant difference between animals fed with or without different types of carbohydrates [26–29].

**Table 4.** The effects of dietary *H. tuberosus* concentrations on skatole and indole concentrations in the adipose tissue of entire males.

Levels of Dietary <i>H. tuberosus</i>	Control (n = 11)	4.1% (n = 12)	8.1% (n = 11)	12.2% (n = 13)	SEM	p-Value
	Means ± SD	Means ± SD	Means ± SD	Means ± SD		
Skatole (µg/g)	0.148 <sup>a</sup> ± 0.0143	0.077 <sup>ab</sup> ± 0.0059	0.027 <sup>b</sup> ± 0.0022	0.041 <sup>b</sup> ± 0.0040	0.0130	0.003
Skatole detection > 0.03 µg/g (%)	72.72	75.00	36.36	53.84		
Indole (µg/g)	0.059 ± 0.0051	0.045 ± 0.0036	0.063 ± 0.0086	0.050 ± 0.0026	0.0008	0.839
Indole detection > 0.03 µg/g (%)	81.82	58.33	54.54	69.23		

<sup>a, b</sup> Means with different superscripts differ significantly; SEM: standard error of the mean

With regard to the level of skatole, a significant decrease was found when diets containing 8.1% and 12.2% *H. tuberosus* were fed to the animals. These results are in agreement with those of several studies, in which the presence of non-digestible oligosaccharides in the diet decreased the levels of skatole in adipose tissue [14–16,18,30]. In addition, Vhile et al. [25] fed animals diets with different levels of *H. tuberosus* only 7 days before slaughter, and they determined that adding dried *H. tuberosus* resulted in a dose-dependent decrease in skatole levels in the adipose tissue.

### 3.3. Microbiota Concentration in the Rectum

Diet and the presence of probiotics, prebiotics or synbiotics can influence microbiota [31]. In the present study, no significant difference was found in the total counts of anaerobic bacteria, bifidobacteria, lactobacilli or coliforms (Table 5), which is in accordance with the findings of Böhmer et al. [31]. A significant effect of *H. tuberosus* was detected in the count of the enterococci ( $p = 0.029$ ), which belong to the order Lactobacillus. The groups given diets supplemented with 4.1% and 8.1% *H. tuberosus* had higher enterococcal contents. Likewise, Paßlack et al. [32] found that inulin increased the cellular numbers of enterococci in the faeces of animals. On the other hand, some authors did not find an effect of inulin on the amounts of enterococci [33,34]. It seems that differences in the results could be caused by variation in the basal diets or the levels of inulin.

Probiotic bacteria are able to selectively ferment prebiotic saccharides and have a positive effect on the maintenance of balanced intestinal microbiota [35].

In the present study, there was a significant difference ( $p \leq 0.001$ ) in the level of *E. coli* with increasing levels of *H. tuberosus* in the diet. *E. coli* may be responsible for the transition of indole acetic acid to skatole [36]. The reduction in *E. coli* with an increasing amount of *H. tuberosus* in the diet could be explained by the antagonistic ability of probiotic bacteria to reduce the levels of enterobacteria, *E. coli* and other potentially pathogenic bacteria [37]. Many studies performed on piglets have shown that a diet enriched with inulin-type fructans has a positive effect on the gastrointestinal tract through an inhibition of pathogenic bacteria [38–40], a reduction of intestinal pH and an increase in villous height [41].

**Table 5.** The effects of dietary *H. tuberosus* concentrations on the microbiota in the rectums of entire males.

Levels of Dietary <i>H. tuberosus</i>	Control (n = 11)	4.1% (n = 12)	8.1% (n = 11)	12.2% (n = 13)	SEM	p-Value
	Means ± SD	Means ± SD	Means ± SD	Means ± SD		
Total anaerobes (log CFU/g)	9.91 ± 0.229	9.90 ± 0.331	9.95 ± 0.227	9.82 ± 0.264	0.038	0.706
Bifidobacteria (log CFU/g)	8.12 ± 0.337	8.37 ± 0.261	8.29 ± 0.303	8.42 ± 0.427	0.051	0.177
Lactobacilli (log CFU/g)	9.11 ± 0.322	9.38 ± 0.386	9.22 ± 0.392	9.19 ± 0.457	0.057	0.404
Enterococci (log CFU/g)	8.72 <sup>b</sup> ± 0.379	9.06 <sup>a</sup> ± 0.330	9.00 <sup>a</sup> ± 0.332	8.70 <sup>b</sup> ± 0.373	0.055	0.029
<i>Escherichia coli</i> (log CFU/g)	6.78 <sup>a</sup> ± 0.617	6.59 <sup>a</sup> ± 0.272	6.44 <sup>a</sup> ± 0.396	5.67 <sup>b</sup> ± 0.549	0.093	≤0.001
Coliforms (log CFU/g)	5.62 ± 0.539	5.45 ± 0.376	5.77 ± 0.828	5.52 ± 0.495	0.083	0.577

<sup>a, b</sup> Means with different superscripts differ significantly; SEM: standard error of the mean; CFU: colony forming units.

### 3.4. Correlations between the Levels of *H. tuberosus*, the Microbiota and the Concentrations of Skatole and Indole

The correlations between the levels of *H. tuberosus*, the microbiota and the concentrations of skatole and indole are shown in Table 6. Table 7 shows the correlations between the concentrations of the microbiota and the skatole and indole levels in the adipose tissue. The results show that increasing levels of *H. tuberosus* in the diet are significantly related to decreasing levels of *E. coli* in the rectum ( $p \leq 0.001$ ;  $-0.64$ ).

With a decreased content of *E. coli*, the levels of skatole in the adipose tissue subsequently significantly decreased ( $p = 0.023$ ; 0.33). These results are in accordance with the fact that *E. coli* belong to the bacteria involved in one part of skatole production in the hind gut [9]. The decreased levels of *E. coli* may be caused by the prebiotic effect of inulin from *H. tuberosus* and the antagonistic ability of probiotics to reduce levels of pathogenic bacteria. The effect of dietary *H. tuberosus* could be enhanced

by combining it with fermented liquid feed, which leads to decreased levels of coliforms and better performance [42,43].

**Table 6.** Pearson’s correlation coefficients between increasing dietary *H. tuberosus* and the concentrations of microbiota in the rectums and the levels of skatole and indole in the adipose tissue of entire males.

	Total Content	Microbiota in Rectums				Adipose Tissue		
		Bif.	Lactob.	Ent.	EC	Coli.	Skat.	Ind.
<i>H. tuberosus</i> concentration	−0.10	0.26	0.01	−0.06	−0.64 <sup>1</sup>	−0.00	−0.46 <sup>2</sup>	−0.02

Bif.: Bifidobacteria; Lactob.: Lactobacilli; Ent.: Enterococci; EC: *E. coli*; Coli.: Coliforms; Skat.: Skatole; Ind.: Indole;  
<sup>1</sup>  $p \leq 0.001$ , <sup>2</sup>  $p = 0.001$ .

**Table 7.** Pearson’s correlation coefficient between the concentrations of microbiota in the rectums and the levels of skatole and indole in the adipose tissue of entire males.

	Skatole	Indole
Total anaerobes	0.11	0.11
Bifidobacteria	−0.15	0.04
Lactobacilli	−0.17	0.02
Enterococci	−0.16	0.05
<i>Escherichia coli</i>	0.33 <sup>1</sup>	0.10
Coliforms	0.09	0.07

<sup>1</sup>  $p = 0.023$ .

#### 4. Conclusions

In conclusion, feeding animals diets with *H. tuberosus* leads to a decreased level of skatole in the adipose tissue. This could be due to the decreased level of proteolytic bacteria, which cause a greater production of skatole, in the gastrointestinal tract. The enrichment of the diet does not have any major negative effects on the growth performance or carcass value. It appears that a diet with 8.1% of *H. tuberosus* fed 13 days before slaughter is a sufficient dose for decreasing the skatole levels, in boars with carcass weight of 110 kg, to those of castrated males.

**Author Contributions:** Conceptualization, M.O., J.Č. and R.S. (Roman Stupka); methodology, M.O., J.Č. and R.S. (Roman Stupka); formal data analysis, M.O., D.U., R.S. (Roman Švejstl) and K.P.; Writing—Original Draft Preparation, M.O.; Writing—Review & Editing, K.Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** The study was funded by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic (Project No. QK1910400).

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

#### References

- Marsalek, P.; Svoboda, M.; Bernardy, J.; Vecerek, V. Concentrations of neopterin, biopterin and cortisol associated with surgical castrations of piglets with lidocaine. *Czech J. Anim. Sci.* **2015**, *60*, 473–478. [CrossRef]
- Squires, E.J. *Applied Animal Endocrinology*, 1st ed.; CABI Publishing: Wallingford, Great Britain, 2003; pp. 68–83.
- Tretola, M.; Maghin, F.; Silacci, P.; Ampuero, S.; Bee, G. Effect of Supplementing Hydrolysable Tannins to a Grower-Finisher Diet Containing Divergent PUFA Levels on Growth Performance, Boar Taint Levels in Back Fat and Intestinal Microbiota of Entire Males. *Animals* **2019**, *9*, 1063. [CrossRef] [PubMed]
- Sinclair, P.A.; Squires, E.J. Testicular sulfoconjugation of the 16-androstene steroids by hydroxysteroid sulfotransferase: Its effect on the concentrations of 5 alpha-androstenone in plasma and fat of the mature domestic boar. *J. Anim. Sci.* **2005**, *83*, 358–365. [CrossRef]



5. Jensen, M.T.; Jensen, B.B. Gas chromatographic determination of indole and 3-methylindole (skatole) in bacterial culture media, intestinal contents and faeces. *J. Chromatogr. B. Biomed. Appl.* **1994**, *665*, 275–280. [[CrossRef](#)]
6. Rasmussen, M.K.; Zamaratskaia, G.; Ekstrand, B. In Vitro Cytochrome P450 2E1 and 2A activities in the presence of testicular steroids. *Reprod. Domest. Anim.* **2011**, *46*, 149–154. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Blanch, M.; Panella-Riera, N.; Chevillon, P.; Furnols, M.F.; Gil, M.; Gil, J.M.; Kallas, Z.; Oliver, M.A. Impact of consumer's sensitivity to androstenone on acceptability of meat from entire male pigs in three European countries: France, Spain and United Kingdom. *Meat Sci.* **2012**, *90*, 572–578. [[CrossRef](#)]
8. Jensen, M.T.; Hansen, L.L. Feeding with chicory roots reduces the amount of odorous compounds in colon and rectal contents of pigs. *Anim. Sci.* **2006**, *82*, 369–376. [[CrossRef](#)]
9. Roberfroid, M.B.; Van Loo, J.A.E.; Gibson, G.R. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *J. Nutr.* **1998**, *128*, 11–19. [[CrossRef](#)]
10. Sattler, V.A.; Bayer, K.; Schatzmayr, G.; Haslberger, A.G.; Klose, V. Impact of a probiotic, inulin, or their combination on the piglets' microbiota at different intestinal locations. *Benef. Microbes.* **2015**, *6*, 473–483. [[CrossRef](#)]
11. Lepczynski, A.; Herosimczyk, A.; Ozgo, M.; Barszcz, M.; Taciak, M.; Skomial, J. Modification of ileal proteome in growing pigs by dietary supplementation with inulin or dried chicory root. *J. Anim. Feed Sci.* **2019**, *28*, 177–186. [[CrossRef](#)]
12. Xu, Z.-R.; Hu, C.-H.; Wang, M.-Q. Effects of fructooligosaccharide on conversion of L-tryptophan to skatole and indole by mixed populations of pig fecal bacteria. *J. Gen. Appl. Microbiol.* **2002**, *48*, 83–89. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Rideout, T.C.; Fan, M.Z.; Cant, J.P.; Wagner-Riddle, C.; Stonehouse, P. Excretion of major odor-causing and acidifying compounds in response to dietary supplementation of chicory inulin in growing pigs. *J. Anim. Sci.* **2004**, *82*, 1678–1684. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Hansen, L.L.; Mejer, H.; Thamsborg, S.M.; Byrne, D.V.; Roepstorff, A.; Karlsson, A.H.; Hansen-Moller, J.; Jensen, M.T.; Tuomola, M. Influence of chicory roots (*Cichorium intybus* L) on boar taint in entire male and female pigs. *Anim. Sci.* **2006**, *82*, 359–368. [[CrossRef](#)]
15. Byrne, D.V.; Thamsborg, S.M.; Hansen, L.L. 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 Sci.* **2008**, *79*, 252–269. [[CrossRef](#)]
16. Kjos, N.P.; Overland, M.; Fauske, A.K.; Sorum, H. Feeding chicory inulin to entire male pigs during the last period before slaughter reduces skatole in digesta and backfat. *Livest. Sci.* **2010**, *134*, 143–145. [[CrossRef](#)]
17. Overland, M.; Kjos, N.K.; Fauske, A.K.; Teige, J.; Sorum, H. Easily fermentable carbohydrates reduce skatole formation in the distal intestine of entire male pigs. *Livest. Sci.* **2011**, *140*, 206–217. [[CrossRef](#)]
18. Zammerini, D.; Wood, J.D.; Whittington, F.M.; Nute, G.R.; Hughes, S.I.; Hazzledine, M.; Matthews, K. Effect of dietary chicory on boar taint. *Meat Sci.* **2012**, *91*, 396–401. [[CrossRef](#)]
19. Grela, E.R.; Pietrzak, K.; Sobolewska, S.; Witkowski, P. Effect of inulin and garlic supplementation in pig diets. *Ann. Anim. Sci.* **2013**, *13*, 63–71. [[CrossRef](#)]
20. Sobolewska, S.; Grela, E.R. Effect of inulin extraction method and level in growing-finishing pig diets on performance, carcass traits and nutrients digestibility. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska* **2013**, *31*, 56–64.
21. Simecek, K.; Zeman, L.; Heger, J. *Needed nutrients and table nutritional value of feed for*; ČSAZV, Komise vyzivy a krmeni hospodarskych zvirat: Brno, Czech Republic, 2000; p. 124, (in Czech language).
22. Okrouhla, M.; Stupka, R.; Citek, J.; Urbanova, D.; Vehovsky, K.; Kourimska, L. Method for determination of androstenone, skatole and indole in dorsal fat of pigs. *Chem. Listy* **2016**, *110*, 593–597.
23. Houdijk, J.G.M.; Bosch, M.W.; Verstegen, M.W.A.; Berenpas, H.J. Effects of dietary oligosaccharides on the growth performance and faecal characteristics of young growing pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* **1998**, *71*, 35–48. [[CrossRef](#)]
24. Wang, W.; Chen, D.; Yu, B.; Huang, Z.; Luo, Y.; Zheng, P.; Mao, X.; Yu, J.; Luo, J.; He, J. Effect of Dietary Inulin Supplementation on Growth Performance, Carcass Traits, and Meat Quality in Growing-Finishing Pigs. *Animals* **2019**, *9*, 840. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. While, S.G.; Kjos, N.P.; Sorum, H.; Overland, M. Feeding Jerusalem artichoke reduced skatole level and changed intestinal microbiota in the gut of entire male pigs. *Animal.* **2012**, *6*, 807–814. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

26. Zamaratskaia, G.; Babol, J.; Andersson, H.K.; Andersson, K.; Lundstrom, K. Effect of live weight and dietary supplement of raw potato starch on the levels of skatole, androstenone, testosterone and oestrone sulphate in entire male pigs. *Livest. Prod. Sci.* **2005**, *93*, 235–243. [[CrossRef](#)]
27. Andersson, H.K.; Andersson, K.; Zamaratskaia, G.; Rydhmer, L.; Chen, G.; Lundstrom, K. 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 Agr. Scand.* **2005**, *55*, 80–90. [[CrossRef](#)]
28. Pauly, C.; Spring, P.; O'Doherty, J.V.; Kragten, S.A.; Bee, G. Performances, meat quality and boar taint of castrates and entire male pigs fed a standard and a raw potato starch-enriched diet. *Animal.* **2008**, *2*, 1707–1715. [[CrossRef](#)]
29. Chen, G.; Zamaratskaia, G.; Andersson, H.K.; Lundstrom, K. Effects of raw potato starch and live weight on fat and plasma skatole, indole and androstenone levels measured by different methods in entire male pigs. *Food Chem.* **2009**, *101*, 439–448. [[CrossRef](#)]
30. Aluwe, M.; Langendries, K.C.M.; Bekaert, K.M.; Tuytens, F.A.M.; De Brabander, D.L.; De Smet, S.; Millet, S. Effect of surgical castration, immunocastration and chicory-diet on the meat quality and palatability of boars. *Meat Sci.* **2013**, *94*, 402–407. [[CrossRef](#)]
31. Böhmer, B.M.; Branner, G.R.; Roth-Maier, D.A. Precaecal and faecal digestibility of inulin (DP 10–12) or an inulin/Enterococcus faecium mix and effects on nutrient digestibility and microbial gut flora. *J. Anim. Physiol. An. N.* **2005**, *89*, 388–396. [[CrossRef](#)]
32. Paßlack, N.; Vahjen, W.; Zentek, J. Dietary inulin affects the intestinal microbiota in sows and their suckling piglets. *BMC Vet. Res.* **2015**, *11*, 1–8. [[CrossRef](#)]
33. Eberhard, M.; Hennig, U.; Kuhla, S.; Brunner, R.M.; Kleessen, B.; Metges, C.C. Effect of inulin supplementation on selected gastric, duodenal, and caecal microbiota and short chain fatty acid pattern in growing piglets. *Arch. Anim. Nutr.* **2007**, *61*, 235–246. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Metzler-Zebeli, B.U.; Ratriyanto, A.; Jezierny, D.; Sauer, N.; Eklund, M.; Mosenthin, R. Effects of betaine, organic acids and inulin as single feed additives or in combination on bacterial populations in the gastrointestinal tract of weaned pigs. *Arch. Anim. Nutr.* **2009**, *63*, 427–441. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Russell, D.A.; Ross, R.P.; Fitzgerald, G.F.; Stanton, C. Metabolic activities and probiotic potential of bifidobacteria. *Int. J. Food Microbiol.* **2011**, *149*, 88–105. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Yokoyama, M.T.; Carlson, J.R. Microbial metabolites of tryptophan in the intestinal tract with special reference to skatole. *Am. J. Clin. Nutr.* **1979**, *32*, 173–178. [[CrossRef](#)]
37. Saarela, M.; Mogensen, G.; Fonden, R.; Matto, J.; Mattila-Sandholm, T. Probiotic bacteria: Safety, functional and technological properties. *J. Biotechnol.* **2000**, *84*, 197–215. [[CrossRef](#)]
38. Tzortzis, G.; Goulas, A.K.; Gee, J.M.; Gibson, G.R. A novel galactooligosaccharide mixture increases the bifidobacterial population numbers in a continuous in vitro fermentation system and in the proximal colonic contents of pigs in vivo. *J. Nutr.* **2005**, *135*, 1726–1731. [[CrossRef](#)]
39. Molbak, L.; Thomsen, L.E.; Jensen, T.K.; Knudsen, K.E.B.; Boye, M. Increased amount of *Bifidobacterium thermacidophilum* and *Megasphaera elsdenii* in the colonic microbiota of pigs fed a swine dysentery preventive diet containing chicory roots and sweet lupine. *J. Appl. Microbiol.* **2007**, *103*, 1853–1867. [[CrossRef](#)]
40. Janczyk, P.; Pieper, R.; Smidt, H.; Souffrant, W.B. Effect of alginate and inulin on intestinal microbial ecology of weanling pigs reared under different husbandry conditions. *FEMS Microbiol. Ecol.* **2010**, *72*, 132–142. [[CrossRef](#)]
41. Pierce, K.M.; Sweeney, T.; Brophy, P.O.; Callan, J.J.; Fitzpatrick, E.; McCarthy, P.; O'Doherty, J.V. The effect of lactose and inulin on intestinal morphology, selected microbial populations and volatile fatty acid concentrations in the gastro-intestinal tract of the weanling pig. *Anim. Sci.* **2006**, *82*, 311–318. [[CrossRef](#)]
42. Canibe, N.; Jensen, B.B. Fermented and nonfermented liquid feed to growing pigs: Effect on aspects of gastrointestinal ecology and growth performance. *J. Anim. Sci.* **2003**, *81*, 2019–2031. [[CrossRef](#)]
43. Missotten, J.A.M.; Michiels, J.; Ovyin, A.; De Smet, S.; Dierick, N.A. Fermented liquid feed for weaned piglets: Impact of sedimentation in the feed slurry on performance and gut parameters. *Czech J. Anim. Sci.* **2015**, *60*, 195–207. [[CrossRef](#)]



## 5. Souhrnná diskuze

V této kapitole jsou souhrnně diskutovány výsledky publikovaných prací. Citace publikovaných prací jsou v textu označeny tučně. Podrobně popsaná metodika společně s výsledky je uvedena v jednotlivých článcích v kapitolách 4.1. – 4.4. S ohledem na publikované práce je souhrnná diskuze rozdělena do čtyřech podkapitol.

### 5.1. Vliv využití prasnic jako kojných na jejich celoživotní užitkovost

Kojné prasnice se v praxi běžně využívají pro odchov nadpočetných selat ve vrzích (Baxter et al. 2013; Bruun et al. 2016; Alvåsen et al. 2017; Koketsu et al. 2017). Jedná se o prasnice, kterým jsou po odstavu jejich vlastních selat ve věku 28 dní následně předložena nadpočetná selata z vrhu jiné prasnice (Bruun et al. 2016). Využití kojných prasnic má významný vliv na rentabilitu chovu, ale vzhledem k prodloužené laktaci kojných prasnic s sebou přináší otázky spojené s vlivem na jejich reprodukci. Prodloužení laktace kojných prasnic může mít za následek jak pozitivní, tak negativní vliv na jejich celoživotní reprodukční užitkovost (Xue et al. 1993; Alvåsen et al. 2017).

V rámci naší studie byly porovnány dvě skupiny prasnic, a to kojných prasnic a prasnic, které jako kojné využity nebyly. Jako kritérium výběru pro využití prasnic jako kojných byl počet odstavených vlastních selat. U prasnic, které byly využity jako kojné, byl odstaven v průměru vyšší počet selat. Vyšší počty odstavených selat těmito prasnicemi mohly být způsobeny lepší kondicí prasnic, lepším mateřským chováním nebo například lepší výživou (Pokorná et al. 2020a). Zvýšení počtu odstavených selat, jako výběrového kritéria, může chovatel zajistit například podáváním  $\gamma$ -aminomáselné kyseliny do krmné směsi selatům. Podáváním této kyseliny dochází ke zlepšení stresové odpovědi selat na jakékoliv podněty (Mei et al. 2019). Může se jednat například o tepelný stres, který má negativní vliv na prasnici i selata a vede ke snížení především mléčné produkce (Guo et al. 2018). Proto se doporučuje umělé krmení selat právě například i směsí obohacenou o  $\gamma$ -aminomáselnou kyselinu. Se snížením stresu u selat souvisí zejména jejich přežití a následný odstav vyššího počtu selat prasnicí (Mei et al. 2019), čehož by se dalo využít u předem vybraných prasnic, které chovatel bude chtít využít jako kojné. Serenius & Stalder (2004) doplňují, že vyšší počet

odstavených selat na prvním vrhu je pozitivní indikátor dlouhověkosti prasnice a její vynikající celoživotní užitkovosti.

Prodloužená laktace kojných prasnic může vést ke zhoršení jejich kondice, dále k různým poraněním na strucích a jiným problémům, které ve výsledku zajistí zhoršenou reprodukční užitkovost na druhém vrhu, nebo dokonce vyřazení prasnice z chovu (Thaker & Bilkei 2005; Alvåsen et al. 2017; Koketsu et al. 2017). Mnohem více studií však uvádí, že prasnice s delší dobou laktace vykazují na následných vrzích lepší reprodukční užitkovost, a to především v počtu celkem narozených selat ve vrhu celkem a v počtu živě narozených selat (Xue et al. 1993; Costa et al. 2004; Hildago et al. 2014). Tento trend byl potvrzen i v rámci naší studie, kdy prasnice, které byly využity jako kojné na jejich prvním vrhu s delší dobou laktace, produkovaly vyšší celkový počet narozených selat na druhém vrhu oproti prasnicím s kratší dobou laktace (**Pokorná et al. 2020a**). Prodloužená laktace však může způsobovat vyčerpání tělesných rezerv prasnice s následným zhoršením kondice (Thaker & Bilkei 2005; Koketsu et al. 2017). Thaker & Bilkei (2005) pozorovali, že ztráty tělesných rezerv vyšší než 10 % mají za následek negativní dopad na následnou reprodukční užitkovost prasnic. **Pokorná et al. (2020a)** potvrdili pouze odstav menšího počtu selat na druhém vrhu u kojných prasnic oproti prasnicím s kratší dobou laktace. Odstav menšího počtu selat může být vysvětlován právě vyčerpáním tělesných rezerv prasnice. Proto Schenkel et al. (2010) pro optimální reprodukční užitkovost doporučuje dbát na to, aby prasnice při odstavu měly výšku hřbetního tuku vyšší než 16 mm a procento tělesného tuku přibližně 21 %.

Delší délka laktace ovlivňuje také interval odstav-říje u prasnic. Prodloužení laktace má negativní vliv na délku intervalu odstav-říje, kdy dlouhá laktace znamená prodlužování tohoto intervalu a následně i produkci málopočetných vrhů, což je pro chovatele nežádoucí (Kemp & Soede 1996; Boyd et al. 2002). V naší studii však byl interval odstav-říje kratší u kojných prasnic, tedy prasnic s delší dobou laktace, které navíc produkovaly vyšší počty selat na následném vrhu oproti prasnicím s kratší dobou laktace (**Pokorná et al. 2020a**). Delší délka laktace u kojných prasnic může mít pozitivní vliv na délku intervalu odstav-říje a následnou reprodukční užitkovost díky delšímu časovému prostoru na involuci dělohy, kdy u prasnic, u kterých dojde k odstavu v 21 dnech po porodu, nemusí být involuce úplná. To následně vede k prodlužování intervalu odstav-říje a ke zhoršení reprodukčních ukazatelů prasnic na následném vrhu (Koketsu et al. 1999). Tantasuparuk et al. (2001) navíc uvádějí, že

prodlužování intervalu odstav-říje vede k celoživotní produkci nižšího počtu selat, což má za následek dřívější vyřazování prasnic z chovů.

Prodloužení laktace na prvním vrhu prasnic nemá vliv pouze na reprodukční užitkovost prasnice na druhém vrhu, ale může mít vliv i na její celoživotní užitkovost. Bruun et al. (2016) se zabývali porovnáním celoživotní užitkovosti mezi kojnými prasnicemi a prasnicemi, které jako kojné využity nebyly. Nezjistili žádné negativní dopady využití prasnic jako kojných na jejich následnou užitkovost v důsledku prodloužené laktace. V naší studii, kde došlo k porovnání prasnic, které byly využity jako kojné na první laktaci, a prasnic, které jako kojné využity nebyly, bylo zjištěno, že kojné prasnice produkují celoživotně vyššího počtu živě narozených selat, vyššího počtu narozených selat na vrh, nižšího počtu mrtvě narozených selat a vyššího věku při vyřazování z chovu (**Pokorná et al. 2020a**). Dle výsledků Bruuna et al. (2016) a **Pokorné et al. (2020a)** má prodloužení laktace u prasnic pozitivní vliv na celoživotní užitkovost. Tyto výsledky doplňuje Le Cozier et al. (1997), kteří zjišťovali vliv krátké doby laktace na reprodukční užitkovost prasnic a v případě velmi krátké laktace potvrdili její negativní vliv na velikost vrhu. I přes cíl produkovat co nejvyšší počet selat ve vrhu by se měl brát ohled na to, že vyšší počet celkově narozených selat je spojen i s vyšším počtem mrtvě narozených selat, což není pro chovatele žádoucí (Randall & Penny 1970; Leenhouders et al. 1999; Koketsu et al. 2017). **Pokorná et al. (2020a)** tyto výsledky nepotvrzují. Kojné prasnice, které produkovaly vyšší počty selat ve vrzích vykazovaly nižší počet mrtvě narozených selat. **Pokorná et al. (2020a)** dále uvádí, že využití prasnic jako kojných je dobrý způsob managementu v řešení problematiky nadpočetných selat ve vrhu, který nemá negativní dopad na celoživotní užitkovost prasnic.

## 5.2. Vliv managementu chovu na produkci selat

Reprodukční užitkovost prasnic je velmi důležitá pro ekonomiku chovu prasat (Aasmundstad et al. 2014). Cílem každého producenta je minimalizovat neproduktivní dny prasnic na minimum a tím maximalizovat zisk vzhledem k zajištění rentability chovu (Madej et al. 2005). Proto je pro chovatele velmi důležitá produkce co možná nejvyššího počtu selat ve vrhu. To se daří u prasnic, u kterých je reprodukční užitkovost využita na maximum již od prvního zapuštění, protože takové prasnice produkují až 2,4 krát vyššího počtu selat ve vrhu, ale jsou vyřazovány z chovu dříve (Engblom et al.

2009). **Pokorná et al. (2020b)** potvrzují, že prasnice z intenzivního chovu, u kterých byl reprodukční potenciál využit od prvního zapaštění, produkovaly vyšší počet selat ve vrhu, ale byly z chovu vyřazovány dříve. Využití reprodukčního potenciálu prasnic od prvního vrhu s sebou může přinášet problémy na následujících vrzích a zhoršenou rentabilitou těchto prasnic (Soede et al. 2013). V chovech se velmi často řeší problematika velikosti druhého vrhu, kdy ve většině případů dochází ke snížení počtu selat na druhém vrhu (Hoving 2012). Malé druhé vrhy negativně ovlivňují velikost následných vrhů (Andersen et al. 2011; Hoving et al. 2011) a jejich velikost bývá ovlivněna velikostí prvního vrhu (Hoving 2012). Avšak Costa et al. (2004) uvádějí, že prasnice na prvních vrzích produkovaly vrhy s menším počtem selat, než prasnice na druhých a dalších vrzích. **Pokorná et al. (2020b)** při porovnání prvního vrhu a následných vrhů prasnic z intenzivních a extenzivních chovů zjistili, že nedošlo ke snížení velikosti druhého vrhu. V obou typech chovů prasnice na druhém vrhu produkovaly vyšší počty selat oproti prvnímu vrhu. Beek et al. (2011) pozorovali, že pokud jsou prasnice vyčerpány produkcí na prvních vrzích, jsou předčasně vyřazovány z chovu. Jen vhodně zvolený systém brakování zvířat zajistí chovu vyrovnanou produkci. Podle výsledků **Pokorné et al. (2020b)** se management vyřazování prasnic v jednotlivých typech chovu prasat liší a jeho cílem je zajištění rentability chovu prasat. V extenzivních chovech je vyvážená produkce zajištěna setrváním plodných prasnic v chovu po delší dobu. V ojedinělých případech můžeme u prasnic z extenzivních chovů zaznamenat až 12 laktací, což může být vysvětleno tím, že produkují velké vrhy a tím zajišťují dostatečný zisk pro zemědělce. Vzhledem k průměrnému počtu laktací setrvávají prasnice v extenzivním chovu průměrně 2,62 roku v produkci. Během celého produkčního života prasnic byly jejich průměrné náklady 86 685 Kč (náklady na jednu prasnici za celý produkční život). Prasnice z intenzivního chovu setrávaly v chovu v průměru 1,73 roku. Za tuto dobu byly jejich náklady vyčísleny o hodnotu nižší o 26 828 Kč než u prasnic z extenzivního chovu. I přes to, že prasnice z extenzivního chovu jsou udržovány v produkci po delší dobu, vyšší pořadí vrhů bývá spojeno s určitými problémy. Čeřovský (2002) uvádí, že prasnice, které jsou vyřazovány později než na sedmé laktaci, jsou horší matky, mají problémy s mléčností, produkují nižší počty živě narozených selat a je u nich odstavován nižší počet selat. Což potvrzují i výsledky **Pokorné et al. (2020b)**, kde prasnice na vyšších vrzích produkovaly vyšší počty mrtvě narozených selat, nižší počty živě narozených selat a nižší počty odstavených selat. To by mohlo být vysvětleno tím, že na vyšších vrzích

dochází k častějšímu zalehávání selat, prasnice vykazují zhoršenou mléčnost a jejich produkce je celkově nevyrovnaná. Z toho důvodu by prasnice měly být vyřazovány z chovu nejpozději po šesté laktaci, ale v praxi jsou mnohem častěji vyřazovány už po čtvrté (Dourmad et al. 1994; Koketsu et al. 1999). Toto tvrzení bylo potvrzeno i ve studii **Pokorné et al. (2020b)**, ale pouze pro prasnice z intenzivního chovu, kde je reprodukční potenciál využit již od prvního vrhu, což je z hlediska ekonomiky pro farmu výhodné. Serenius & Stalder (2004) uvedli, že vyšší počet selat ve vrhu má pozitivní vliv na dlouhověkost a rentabilitu prasnic. Ze studie **Pokorné et al. (2020b)** je ale zřejmé, že prasnice z intenzivních chovů, které produkují vyšší počty selat za rok, jsou vyřazovány z chovu dříve. Prasnice z extenzivního chovu mají naproti tomu méně selat na vrh a jsou vyřazovány později. Nižší počet selat ve vrhu však může znamenat, že narozená selata mají vyšší porodní hmotnost a Nevrkla et al. (2017) uvádějí, že selata s vyšší porodní hmotností dosahují porážkové hmotnosti dříve, což by mohlo být velkou výhodou pro rentabilitu farmy.

### 5.3. Změny hladin androstenonu ve slinách kanců ve vztahu k věku

Detekce složek kančího pachu je vzhledem k možnosti zavedení výkrmu kanečků velmi aktuálním tématem. V detekci složek zodpovědných za kančí pach budou hrát zásadní roli neinvazivní metody. Pro neinvazivní způsob detekce se nabízí způsob analýzy složek kančího pachu ze slin kanců, kde je přítomná jedna ze složek zodpovídajících za kančí pach – androstenon (**Pokorná et al. 2022**). Androstenon ve slinách kanců byl analyzován ve studii Dehnharda et al. (2013), kde byly analyzovány sliny kanců plemen německá landrase a göttingenské miniprase. U kanců plemene göttingenské miniprase byly zjištěny vyšší hodnoty složek kančího pachu oproti kancům plemene německá landrase. Hodnota hladin složek kančího pachu se shodovala se studií **Pokorná et al. (2022)** pouze v případě plemene německá landrase. Vyšší hladiny složek zodpovědných za kančí pach u göttingenských miniprasat mohly být způsobeny sezónností tohoto plemene. Bylo například potvrzeno, že tuk kanců obsahuje vyšší hladiny složek zodpovědných za kančí pach během letní sezóny ve většině evropských zemí (Walstra et al. 1999). Xue et al. (1996) doplňují, že mezi plemeny duroc, hampshire, landrase a yorkshire nebyly potvrzeny žádné významné rozdíly v hladinách androstenonu. Pro budoucí účely by bylo dobré analyzovat složky zodpovědné za kančí pach u nejvíce používaných hybridních kombinací používaných pro výkrm.

V rámci androstenonu jsou rozlišovány tři základní složky zodpovědné za kančí pach, a to 5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one (AND), 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol ( $\alpha$ -AND) a 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol ( $\beta$ -AND) (Brooks & Pearson 1986). Ve varlatech po pubertě dominuje produkce  $\beta$ -AND, zatímco ve slinných žlázách dominuje produkce  $\alpha$ -AND v každém věku kanců (Booth 1975; Hurden et al. 1979). Ve výsledcích studie **Pokorné et al. (2022)** byly tyto výsledky potvrzeny pouze v jednom případě. Vyšší produkce  $\alpha$ -AND oproti  $\beta$ -AND ve slinách byla potvrzena pouze u skupiny nejstarších kanců. Ruszczyc et al. (1981) uvádějí, že se hladiny všech metabolitů 5 $\alpha$ -androstenonu zvyšují přímo úměrně s hmotností a věkem kanců. Což potvrzuje i studie **Pokorné et al. (2022)**, kde nejstarší kanci dosahovali nevyšších hladin androstenonu.

Booth et al. (1986) potvrdili pozitivní korelaci mezi hladinami 5 $\alpha$ -androstenonu v tkáni submaxilárních slinných žláz a hmotností těchto slinných žláz. Nižší hladiny 5 $\alpha$ -androstenonu v tkáni submaxilárních slinných žláz souvisely s nižší hmotností těchto slinných žláz. Hladina 5 $\alpha$ -androstenonu však byla zjišťována pouze v tkáni slinných žláz. **Pokorná et al. (2022)** věnovali pozornost vztahu mezi hladinami 5 $\alpha$ -androstenonu ve slinách a dalšími parametry. V této studii byly potvrzeny pozitivní korelace mezi věkem kanců a hmotností slinných žláz, věkem a hladinou AND, dále mezi živou hmotností a hmotností submaxilárních slinných žláz, mezi hmotností submaxilárních slinných žláz a hladinou  $\beta$ -AND a v neposlední řadě také mezi hmotností submaxilárních slinných žláz a celkovou hladinou 5 $\alpha$ -androstenonu. Tyto výsledky potvrzují i Booth et al. (1986), kteří uvádějí pozitivní korelace mezi věkem kanců a hmotností submaxilárních slinných žláz a potvrzují, že hmotnost submaxilárních slinných žláz se zvyšuje s věkem a živou hmotností kanců, což je v souladu s výsledky **Pokorné et al. (2022)**. Dále byly popsány pozitivní korelace mezi hladinami androstenonu ve slinných žlázách a androstenonu v tuku (Babol et al. 1996).

#### **5.4. Vliv zkrmování *Helianthus tuberosus* L. na populace fekálních bakterií a hladinu skatolu u kanců**

Omezení chirurgické kastrace kanečků znamená vzhledem k přítomnosti kančího pachu ve vepřovém mase začátek hledání vhodných alternativ redukce těchto složek. **Okrouhlá et al. (2020)** uvádějí jednu z možných alternativ redukce kančího pachu, a to zkrmování *Helianthu tuberosu* L., nebo-li slunečnice topinambur (dále jen topinambur) v dietě kanců. S ohledem na růstovou schopnost kanců, kanci krmení



krmnou směsí s nejvyšším podílem topinamburu ve srovnání s ostatními skupinami měli nejnižší denní přírůstky. Houdijk et al. (1998), kteří studovali použití fruktooligosacharidů v krmivu a jejich vliv na růstovou schopnost kanců, však nezjistili žádné významné rozdíly mezi skupinami kanců krmenými nestravitelnými oligosacharidy nebo bez nich. Nicméně výsledky studie **Okrouhlé et al. (2020)** jsou v rozporu s výsledky Grely et al. (2013) a Wanga et al. (2019), kteří zjistili významně vyšší denní přírůstky a lepší konverzi krmiva u kanců krmených směsí doplněnou o inulin. Ve studii **Okrouhlé et al. (2020)** lze snížení denního přírůstku ve skupině krmené 12,2 % topinamburu vysvětlit sníženým denním příjmem krmiva v této skupině, který mohl být způsoben přítomností látek, které měnily organoleptické vlastnosti krmné směsi. Podíl zkrmovaného topinamburu v krmné směsi nemělo žádný významný vliv na vlastnosti jatečně upraveného těla, což je v souladu s výsledky uváděnými ve studii Vhile et al. (2012), kteří nenašli žádné významné rozdíly mezi skupinami krmenými topinamburem a bez topinamburu. **Okrouhlá et al. (2020)** nezjistili žádný významný vliv na hladiny indolu v tukové tkáni kanců. Tyto výsledky jsou potvrzovány výsledky předchozích studií, které nepotvrdily žádný významný rozdíl mezi zvířaty krmenými různými přídávky různých typů sacharidů nebo bez nich (Andersson et al. 2005; Zamaratskaia et al. 2005b; Chen et al. 2007; Pauly et al. 2008). S ohledem na hladinu skatolu bylo zjištěno významné snížení hladin této složky v tuku kanců při podávání krmiva s obsahem 8,1 % a 12,2 % topinamburu (**Okrouhlá et al. 2020**). Tyto výsledky jsou v souladu s výsledky několika dalších studií, ve kterých přítomnost nestravitelných oligosacharidů v krmivu snížila hladiny skatolu v tukové tkáni (Hansen et al. 2006; Byrne et al. 2008; Kjos et al. 2010; Zammerini et al. 2012; Aluwe et al. 2017). Kromě toho Vhile et al. (2012) zkrmovali kancům různé podíly topinamburu v krmné směsi 7 dní před porážkou a zjistili, že přidání sušeného topinamburu v závislosti na jeho podílu má za následek snížení hladiny skatolu v tukové tkáni kanců.

Přítomnost probiotik, prebiotik nebo synbiotik v krmné směsi, nebo celkově typ krmné směsi může ovlivnit mikrobiotu ve střevech kanců (Böhmer et al. 2005). **Okrouhlá et al. (2020)** neuvádějí žádný významný rozdíl v celkových počtech anaerobních bakterií, bifidobakterií, laktobacilů nebo koliformních bakterií, což je v souladu se zjištěními Böhmera et al. (2005). Významný vliv topinamburu byl zaznamenán na počet enterokoků, které patří do řádu *Lactobacillus*. Skupiny kanců, kterým byla krmna dieta doplněná 4,1 % a 8,1 % topinamburu, měly vyšší počet

enterokoků. Podobně Paßlack et al. (2015) zjistili, že inulin navyšuje buněčný počet enterokoků ve výkalech zvířat. Oproti tomu některé studie uvádějí, že inulin nemá žádný vliv na počet enterokoků (Eberhard et al. 2007; Metzler-Zebeli et al. 2009). Rozdíly ve výsledcích těchto studií by mohly být způsobeny rozdílným složením diet nebo přítomností inulinu v dietě. Probiotické bakterie jsou schopny selektivně fermentovat prebiotické sacharidy a mají pozitivní vliv na udržení vyvážené střevní mikrobioty (Russell et al. 2011). **Okrouhlá et al. (2020)** ve své studii uvádí významný rozdíl mezi počtem bakterií *Escherichia coli* (dále jen *E. coli*) se zvyšujícím se podílem topinamburu v dietě. *E. coli* může být zodpovědná za přeměnu kyseliny indolové na skatol (Yokoyama et al. 1979). Snížení počtu bakterií *E. coli* se zvyšujícím se podílem topinamburu v krmné směsi by se dalo vysvětlit antagonistickou schopností probiotických bakterií snižovat hladiny enterobakterií, *E. coli* a dalších potenciálně patogenních bakterií (Saarela et al. 2000). Mnoho studií prokázalo, že krmná směs obohacená o fruktany inulinového typu má pozitivní vliv na prostředí gastrointestinálního traktu prostřednictvím inhibice patogenních bakterií u selat (Tzortzis et al. 2005; Mølbak et al. 2007; Janczyk et al. 2010), snížením střevního pH a zvětšením plochy klků (Pierce et al. 2006). **Okrouhlá et al. (2020)** ve své studii zjistili, že zvyšující se podíl topinamburu v krmné směsi významně souvisí se snižujícím se počtem *E. coli* v konečniku. Se sníženým počtem *E. coli* souviselo i snížení hladiny skatolu v tukové tkáni. Tyto výsledky jsou v souladu se skutečností, že *E. coli* patří k bakteriím podílejícím se na části produkce skatolu v tlustém střevě (Roberfroid et al. 1998). Nízké počty *E. coli* mohou být způsobeny prebiotickým účinkem inulinu, pocházejícího z topinamburu a antagonistickou schopností probiotik snižovat hladiny patogenních bakterií. Účinek topinamburu v dietě by mohl být zlepšen jeho kombinací s fermentovaným tekutým krmivem, což by mělo za následek snížení počtu koliformních bakterií a lepší užitkovosti vykrmovaných zvířat (Canibe & Jensen 2003; Missotten et al. 2015).

## 6. Závěr

Způsoby managementu chovu mají velmi významnou roli vzhledem k zájmu chovatele o zajištění co nejlepších životních podmínek zvířat. Zvolený způsob managementu by měl mít pozitivní efekt jak na životní podmínky zvířat, tak i na ekonomiku chovu. Největší zájem veřejnosti a chovatelů bývá o způsoby managementu, které mohou negativně ovlivňovat welfare zvířat a tím i jejich užitkovost. Jedná se především o management ovlivňující reprodukci prasnic, které produkují vyšší počty selat ve vrhu, než jsou schopné uživit, a o kastraci kanečků na porodnách. Pro zhodnocení těchto vybraných konkrétních způsobů managementu chovu prasat byly zvoleny čtyři příslušné cíle v rámci disertační práce, které byly splněny. Byla porovnána reprodukční užitkovost kojných prasnic a prasnic, které jako kojné využity nebyly. Dále byla porovnána reprodukční užitkovost prasnic z extenzivního a intenzivního chovu. V neposlední řadě byl ověřen vztah mezi hladinou androstenonu ve slinách kanců a jejich věkem a vliv zkrmování *Helianthu tuberosu* L. na hladinu kančího pachu u vykrmovaných kanců.

Díky produkci vyššího počtu selat, než je počet struků prasnice, je využití prasnic jako kojných nezbytným předpokladem zajištění odchovu nadbytečných selat ve vrhu. Problematika nadpočetných vrhů je spojena zejména s intenzivními chovy, kde se pro produkci selat využívá moderních hybridních kombinací prasat. Proto se nabízí otázka vlivu prodloužení laktace u kojných prasnic na jejich welfare, jehož odrazem je i celoživotní užitkovost prasnic. I přes prodlouženou první laktaci kojných prasnic, která mohla způsobit vyčerpání tělesných rezerv prasnic, vykazovaly tyto prasnice lepší celoživotní užitkovost než prasnice, které jako kojné na první laktaci využity nebyly. Prodloužená první laktace měla pozitivní efekt na velikost následujících vrhů a na celoživotní užitkovost prasnic. První hypotéza disertační práce nebyla potvrzena, ale tento výsledek je ve své podstatě velkým benefitem pro intenzivní chovy, kdy využití prasnic jako kojných na jejich první laktaci zajišťuje přežití nadpočetných selat bez negativního dopadu na welfare a celoživotní užitkovost prasnic, což je pro chovy důležité i z hlediska ekonomiky.

V důsledku zajištění maximalizace produkce je reprodukční potenciál prasnic z intenzivních chovů využíván již od prvního vrhu, což je odlišné od prasnic z extenzivních chovů. I přes maximální využití prasnic z intenzivních chovů od začátku zařazení do reprodukce, měly tyto prasnice lepší výsledky v rámci reprodukční

užitkovosti a rentability, ale byly vyřazovány z chovu dříve než prasnice z extenzivního chovu, proto byla druhá hypotéza disertační práce potvrzena. Prasnice z intenzivního chovu byly vyřazovány z chovu dříve díky maximalizaci jejich produkce, avšak bez negativního vlivu na jejich užitkovost, což je velkým benefitem pro chovy prasat. Rentabilita chovu prasat je velmi důležitá, ale nelze ji realizovat bez správně zvoleného způsobu managementu chovu, pro jehož správné zvolení je nutné dobře znát biologické principy reprodukčního potenciálu prasnic. Dále je nutné uplatnit správně znalosti, aby nedocházelo k negativnímu vlivu jak na reprodukci prasnic, tak celkově na jejich životní podmínky. Jen vhodně zvolený způsob managementu chovu zajistí ekonomickou návratnost s minimálními ztrátami s ohledem na welfare zvířat.

S prasnicemi a jejich reprodukční užitkovostí souvisí zejména produkce selat. Produkce selat je pak spojena zejména problematika produkce kanečků, u kterých je běžným zásahem managementu chovu jejich kastrace do týdne věku. Vzhledem k čím dál aktuálnější možnosti zákazu chirurgické kastrace kanečků a k čím dál většímu tlaku na welfare zvířat je nutné zjistit co nejvíce informací o složkách zodpovědných za kančí pach a v neposlední řadě se snažit zajistit jejich včasnou detekci. Jedna z nejvýznamnějších složek zodpovědných za kančí pach – androstenon, může být do budoucna vhodným prekurzorem. Androstenon, přítomný i ve slinách kanců, zvyšuje svoji hladinu ve slinách s věkem kanců, což potvrzuje třetí hypotézu disertační práce. Přítomnost androstenonu ve slinách kanců by do budoucna mohla být přínosná pro neinvazivní metodu včasné detekce kančího pachu, což by mělo velký přínos jak z hlediska welfare zvířat, tak z hlediska spotřebitelů a producentů.

S omezením chirurgické kastrace nesouvisí pouze včasná detekce kančího pachu, ale také možnosti jeho eliminace. Jako velmi vhodnou alternativou eliminace kančího pachu se jeví zkrmování topinamburu. Zkrmování topinamburu mělo pozitivní účinek na snížení hladiny skatolu v tukové tkáni kanců. Krmná směs s přídatkem topinamburu neměla negativní vliv na růstovou schopnost kanců ani kvalitu jatečně upraveného těla. Čtvrtá hypotéza disertační práce byla potvrzena. Krmení krmnou směsí s přídatkem topinamburu pozitivně ovlivňuje snížení složek zodpovědných za kančí pach a jeví se jako vhodná alternativa chirurgické kastrace kanečků, avšak s otázkou ekonomického dopadu. Pro dosažení co nejlepších výsledků užitkovosti prasat obecně je zajištění jejich dobrého welfare podstatnou podmínkou, kterou lze uskutečnit pouze v případě vhodně zvolených způsobů managementu chovu.

## 7. Seznam použité literatury

- Aasmundstad T, Olsen D, Sehested E, Vangen O. 2014. The genetic relationships between conformation assessment of gilts and sow production and longevity. *Livestock Science* **167**:33–40.
- Agergaard N, Laue A. 1998. Absorption of skatole to portal vein blood and liver turnover in entire male pigs using an in vivo animal model. Skatole and boar taint. Danish Meat Research Institute, Roskilde.
- Alexopoulos JG, Lines DS, Hallett S, Plush KJ. 2018. A review of success factors for piglet fostering in lactation. *Animals* **8**:38.
- Alonso V, Rocco VVB, Galdeano JVB, Santana RS, Molero AHT, Oliveira MCD. 2012. Split suckling in relation to the parturition order of sows. *Revista Brasileira de Zootecnia* **41**:221–224.
- 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.
- Aluwé M, Millet S, Nijs G, Tuytens FAM, Verheyden K, De Brabander HF, De Brabander DL, Van Oeckel MJ. 2009. Absence of an effect of dietary fibre or clinoptilolite on boar taint in entire male pigs fed practical diets. *Meat Science* **82**:346–352.
- Alvåsen K, Hansson H, Emanuelson U, Westin R. 2017. Animal welfare and economic aspects of using nurse sows in Swedish pig production. *Frontiers in Veterinary Science* **4**:1–6.
- Amdi C, Moustsen VA, Oxholm LC, Baxter EM, Sørensen G, Eriksson KB, Diness LH, Nielsen MF, Hansen CF. 2017. Comparable cortisol, heart rate and milk let-down in nurse sows and non-nurse sows. *Livestock Science* **198**:174–181.
- Andersen IL, Nævdal E, Bøe KE. 2011. Maternal investment, sibling competition, and offspring survival with increasing litter size and parity in pigs (*Sus scrofa*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* **65**:1159–1167.
- Andersson HK, Andersson K, Zamaratskaia G, Rydhmer L, Chen G, Lundström 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* **55**:80–90.

- Andersson K, Brunius C, Zamaratskaia G, Lundström K. 2012. Early vaccination with Improvac? Effects on performance and behaviour of male pigs. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience* **6**:87–95.
- Andersson E, Frössling J, Engblom L, Algers B, Gunnarsson S. 2015. Impact of litter size on sow stayability in Swedish commercial piglet producing herds. *Acta Veterinaria Scandinavica* **58**:1-9.
- Andersson E, Frössling J, Westin R, Algers B, Gunnarsson S. 2020. Associations between litter size and medical treatment of sows during farrowing and lactation. *Acta Agriculturae Scandinavica* **69**:176–182.
- Andresen Ø. 1976. Concentrations of fat and plasma 5 $\alpha$ -androstenedione and plasma testosterone in boars selected for rate of body weight gain and thickness of back fat during growth, sexual maturation and after mating. *Journal of Reproduction and Fertility* **48**:51–59.
- Andronie I, Pârvu M, Nițu C, Andronie V. 2016. Immunocastration in Fattening Pigs and its Effects on Productive Performance. *Scientific Papers: Animal Science & Biotechnologies* **49**:209–211.
- Appleby MC. 1996. Can we extrapolate from intensive to extensive conditions? *Applied Animal Behaviour Science* **49**:23–27.
- Argemí-Armengol I, Villalba D, Bertolín JR, Latorre MÁ, Panella-Riera N, Álvarez-Rodríguez J. 2021. Dietary silage supplement modifies fatty acid composition and boar taint in pork fat. *Annals of Animal Science* **21**:477–500.
- Babol J, Squires EJ, Bonneau M. 1996. Factors regulating the concentrations of 16-androstene steroids in submaxillary salivary glands of pigs. *Journal of Animal Science* **74**:413–419.
- Babol J, Zamaratskaia G, Juneja RK, Lundström K. 2004. The effect of age on distribution of skatole and indole levels in entire male pigs in four breeds: Yorkshire, Landrace, Hampshire and Duroc. *Meat Science* **67**:351–358.
- Baxter EM, Rutherford KMD, D'eath RB, Arnott G, Turner SP, Sandøe P, Moustsen VA, Thorup F, Edwards SA, Lawrence AB. 2013. The welfare implications of large litter size in the domestic pig II: management factors. *Animal Welfare* **22**:219–238.
- Beek J, Jong ED, Soom AV, Kruif AD, Maes D. 2011. Ovarian cysts in sows: a multifactorial disorder with consequences on the reproductive performance. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift* **80**:215–222.

- Bergsma R, Kanis E, Knol EF, Bijma P. 2008. The contribution of social effects to heritable variation in finishing traits of domestic pigs (*Sus scrofa*). *Genetics* **178**:1559–1570.
- Berner H, Dietel M. 1992. Effect of noise on the course of farrowing. *Tierärztliche Umschau* **47**:549–556.
- Bond J. 1963. Effects of loud sounds on the physiology and behavior of swine. US Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Bone C, Anderson A, Lou Y, Squires EJ. 2019. The characterization of androstenone transport in boar plasma. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* **185**:218–224.
- Bonneau M. 1987. Effect of age and live weight on fat androstenone levels in young boars fed two different planes of nutrition. *Reproduction Nutrition Development* **27**:413–422.
- Bonneau M, Desmoulin B. 1980. Evolution de la teneur androstenone du tissu adipeux dorsal chez le porc male entire de type Large-White: variations selon les conditions d'élevage. *Journal of Reproduction and Nutrition Development* **20**:1429–1437.
- Booth WD. 1975. Changes with age in the occurrence of C19 steroids in the testis and submaxillary gland of the boar. *Reproduction* **42**:459–472.
- Booth WD, Williamson DE, Patterson RLS. 1986. 16-androstene steroids in the submaxillary salivary gland of the boar in relation to measures of boar taint in carcasses. *Animal Production* **42**:145–152.
- Boyd RD, Castro GC, Cabrera RA. 2002. Nutrition and management of the sow to maximize lifetime productivity. *Advances in Pork Production* **13**:1–12.
- Böhmer BM, Branner GR, Roth-Maier DA. 2005. Precaecal and faecal digestibility of inulin (DP 10–12) or an inulin/*Enterococcus faecium* mix and effects on nutrient digestibility and microbial gut flora. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **89**:388–396.
- Brewster V, Nevel A. 2013. Immunocastration with Improvac™ reduces aggressive and sexual behaviours in male pigs. *Applied Animal Behaviour Science* **145**:32–36.
- Brooks RI, Pearson AM. 1986. Steroid hormone pathways in the pig, with special emphasis on boar odor: a review. *Journal of Animal Production* **62**:632–645.

- Broom DM. 1991. Animal welfare: concepts and measurement. *Journal of Animal Science* **69**:4167–4175.
- Brunius C, Zamaratskaia G, Andersson K, Chen G, Norrby M, Madej A, Lundström K. 2011. Early immunocastration of male pigs with Improvac®—Effect on boar taint, hormones and reproductive organs. *Vaccine* **29**:9514–9520.
- Bruun TS, Amdi C, Vinther J, Schop M, Strathe AB, Hansen CF. 2016. Reproductive performance of “nurse sows” in Danish piggeries. *Theriogenology* **86**:981–987.
- 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.
- 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.
- Büttner K, Czycholl I, Mees K, Krieter J. 2020. Temporal development of agonistic interactions as well as dominance indices and centrality parameters in pigs after mixing. *Applied Animal Behaviour Science* **222**:1–9.
- 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, Jensen BB. 2003. Fermented and nonfermented liquid feed to growing pigs: effect on aspects of gastrointestinal ecology and growth performance. *Journal of Animal Science* **81**:2019–2031.
- Claus R. 1979. Pheromone bei Säugetieren unter besonderer Berücksichtigung des Ebergeruchsstoffes und seiner Beziehung zu anderen Hodensteroiden. *Zeitschrift für Tierphysiologie Tierernährung* **10**:100–136.
- Claus R, Alsing W. 1976. Einfluss von Choriogonadotropin, Handlungsänderung und sexueller Stimulierung auf die Konzentrationen von Testosteron im Plasma sowie des Ebergeruchsstoffes im Plasma und Fett eines Ebers. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr* **89**:354–358.
- Claus R, Hoffmann B. 1971. Determination of  $\Delta^{16}$ -steroids in boars. *European Journal of Endocrinology* **68**:155.
- Claus R, Losel D, Lacorn M, Mentschel J, Schenkel H. 2003. Effects of butyrate on apoptosis in the pig colon and its consequences for skatole formation and tissue accumulation. *Journal of Animal Science* **81**:239–248.



- Claus R, Raab S. 1999. Influences on skatole formation from tryptophan in the pig colon. Tryptophan, Serotonin, and Melatonin Basic Aspects and Applications **467**:679-684.
- Claus R, Weiler U, Herzog A. 1994. Physiological aspects of androstenone and skatole formation in the boar – a review with experimental data. Meat Science **38**:289–305.
- Cole DJA, Varley MA, Hughes PE. 1975. Studies in sow reproduction. 2. The effect of lactation length on the subsequent reproductive performance of the sow. Animal Science **20**:401–406.
- Costa EP, Filha WA, Costa AHA, Carvalho FF, Santos AK, Silva AF. 2004. Influence of the lactation length in the subsequent litter size of sows. Animal Reproduction **1**:111–114.
- Craig HB, Pearson AM, Webb NB. 1962. Fractionation of the components responsible for sex odor/flavour in pork. Journal of Food Science **27**:29–35.
- Čechová M, Tvrdoň Z. 2006. Relationships between backfat thickness and parameters of reproduction in the Czech Large White sows. Archives Animal Breeding **49**:363–369.
- Čeřovský J. 2002. Higher piglet production per sow is a step in the right direction. Farmář **8**:41–43.
- ČSÚ. 2021. Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů (na obyvatele za rok) – 2020. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreb-a-potravin> (accessed November 2021).
- De Brabander HF, Verbeke R. 1986. Quantitative determination of androstenone in pig adipose tissue. Journal of Chromatography A **363**:293–302.
- De Rosa LS, Souza MIL, Correa Filho RAC, da Costa Filho LCC. 2015. Genetic group and parity order on productive and reproductive performance of sows. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal **16**:47–56.
- Dehnhard M, Rohrmann H, Kauffold J. 2013. Measurement of 16-Androstenes (5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one, 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol, 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol) in Saliva of German Landrace and Göttingen Minipig Boars. Chemical Signals in Vertebrates **12**:381–389.
- Deslandes B, Gariépy C, Houde A. 2001. Review of microbiological and biochemical effects of skatole on animal production. Livestock Production Science **71**:193–200.

- Desmoulin B, Bonneau M, Frouin A, Bidard JP. 1982. Consumer testing of pork and processed meat from boars: the influence of fat androstenone level. *Livestock Production* **9**:707–715.
- Dewey CE, Martin SW, Friendship RM, Wilson MR. 1994. The effects on litter size of previous lactation length and previous weaning-to-conception interval in Ontario swine. *Preventive Veterinary Medicine* **18**:213–223.
- Dourmad JY, Etienne M, Prunier A, Noblet J. 1994. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: a review. *Livestock Production Science* **40**:87–97.
- Dunshea FR, Colantoni C, Howard K, McCauley I, Jackson P, Long KA, Lopaticki S, Nugent EA, Simons JA, Walker J, Hennessy, D. P. 2001. Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac) eliminates boar taint and increases growth performance. *Journal of Animal Science* **79**:2524–2535.
- Eberhard M, Hennig U, Kuhla S, Brunner RM, Kleessen B, Metges CC. 2007. Effect of inulin supplementation on selected gastric, duodenal, and caecal microbiota and short chain fatty acid pattern in growing piglets. *Archives of Animal Nutrition* **61**:235–246.
- EFSA. 2004. Opinion of the scientific panel on animal health and welfare on a request from the commission related to welfare aspects of the castration of piglets 1 (Question N ° EFSA-Q-2003 - 091) Adopted on the 12th and 13th July 2004. *The EFSA Journal* **1**:1–18.
- Engblom L, Lundeheim N, Dalin AM, Andersson K. 2007. Sow removal in Swedish commercial herds. *Livestock Science* **106**:76–86.
- Engblom L, Lundeheim N, Dalin AM, Andersson K. 2009. Genetics of crossbred sow longevity. *Animal* **3**:783–790.
- Engblom L, Lundeheim N, Strandberg E, del Schneider P, Dalin AM, Andersson K. 2008. Factors affecting length of productive life in Swedish commercial sows. *Journal of Animal Science* **86**:432–441.
- Faucitano L. 2001. Causes of skin damage to pig carcasses. *Canadian Journal of Animal Science* **81**:39–45.
- Filha WA, Bernardi ML, Wentz I, Bortolozzo FP. 2010. Reproductive performance of gilts according to growth rate and backfat thickness at mating. *Animal Reproduction Science* **121**:139–144.
- Fraser D. 2008. Understanding animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica* **50**:1–7.

- Freyer G. 2018. Maximum number of total born piglets in a parity and individual ranges in litter size expressed as specific characteristics of sows. *Journal of Animal Science and Technology* **60**:1–7.
- Gottardo F, Scollo A, Contiero B, Ravagnani A, Tavella G, Bernardini D, De Benedictis GM, Edward SA. 2016. Pain alleviation during castration of piglets: a comparative study of different farm options. *American Society of Animal Science* **94**:5077–5088.
- Grela ER, Pietrzak K, Sobolewska S, Witkowski P. 2013. Effect of Inulin and Garlic Supplementation in Pig Diets/Efektywnosc dodatku inuliny i czosnku w zywieniu tucznikow. *Annals of Animal Science* **13**:63–71.
- Guo Z, Lv L, Liu D, Fu B. 2018. Effects of heat stress on piglet production/performance parameters. *Tropical animal health and production* **50**:1203–1208.
- Hansen LL, Mejer H, Thamsborg SM, Byrne DV, Roepstorff A, Karlsson AH, Hansen-Møller J, Jensen MT, Tuomola M. 2006. Influence of chicory roots (*Cichorium intybus* L) on boar taint in entire male and female pigs. *British Society of Animal Science* **82**:1–11.
- Hansson KE, Lundstrøm K, Fjellkner-Modig S, Persson J. 1980. The importance of androstenone and skatole for boar taint. *Swedish Journal of Agriculture Research* **10**:167.
- Hemsworth PH, Mellor DJ, Cronin GM, Tilbrook AJ. 2015. Scientific assessment of animal welfare. *New Zealand Veterinary Journal* **63**:24–30.
- Hidalgo DM, Friendship RM, Greiner L, Manjarin R, Amezcua MR, Dominguez JC, Kirkwood RN. 2014. Influence of lactation length and gonadotrophins administered at weaning on fertility of primiparous sows. *Animal Reproduction Science* **149**:245–248.
- Holder RB, Lamberson WR, Bates RO, Safranski TJ. 1995. Lifetime productivity in gilts previously selected for decreased age at puberty. *Animal Science* **61**:115–121.
- Hoshino Y, Koketsu Y. 2009. An evaluation of the impact of increased lactation length on the reproductive efficiency of sows in commercial herds. *Journal of Veterinary Medical Science* **71**:299-303.
- Houdijk JGM, Bosch MW, Verstegen MWA, Berenpas HJ. 1998. Effects of dietary oligosaccharides on the growth performance and faecal characteristics of young growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* **71**:35–48.

- Hoving LL. 2012. The second parity sow: Causes and consequences of variation in reproductive performance. Wageningen University and Research, Wageningen.
- Hoving LL, Soede NM, Graat EAM, Feitsma H, Kemp B. 2011. Reproductive performance of second parity sows: Relations with subsequent reproduction. *Livestock Science* **140**:124–130.
- Hughes PE. 1998. Effects of parity, season and boar contact on the reproductive performance of weaned sows. *Livestock Production Science* **54**:151–157.
- Hurden EL, Gower DB, Harrison FA. 1979. Biosynthesis of 16-androstenes and androgens in boar testis *in vivo*. *The Journal of Endocrinology* **81**:161–162.
- Chen G, Zamaratskaia G, Andersson HK, Lundström K. 2007. Effects of raw potato starch and live weight on fat and plasma skatole, indole and androstenone levels measured by different methods in entire male pigs. *Food Chemistry* **101**:439–448.
- Iida R, Yatabe Y, Piñeiro C, Koketsu Y. 2019. Nurse sows' reproductive performance in different parities and lifetime productivity in Spain. *Journal of Agricultural Science* **11**:29–38.
- Improvac - Zoetis. 2020. Improvac příbalový leták. Available from <https://myhealthbox.eu/cs/improvac/3533276> (accessed December 2020).
- Janczyk P, Pieper R, Smidt H, Souffrant WB. 2010. Effect of alginate and inulin on intestinal microbial ecology of weanling pigs reared under different husbandry conditions. *FEMS Microbiology Ecology* **72**:132–142.
- Jensen BB, Jensen MT. 1993. In Measurement and Prevention of Boar Taint in Entire Male Pigs. Roskilde, Denmark **60**:99-105.
- 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.
- Joseph DR. 1994. Structure, function, and regulation of androgen-binding protein/sex hormone-binding globulin. *Vitamins and Hormones*, **49**:197–280.
- Kameník J, Kratochvíl J. 2012: Boar taint. *Maso* **2**:3-9.
- Katkov T, Booth WD, Gower DB. 1972. The metabolism of 16-androstenes in boar salivary glands. *Biochimica et Biophysica Acta* **270**:546–556.
- Kemp B, Soede NM. 1996. Relationship of weaning-to-estrus interval to timing of ovulation and fertilization in sows. *Journal of Animal Science* **74**:944–949.

- 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.
- Knecht D, Środoń S, Duziński K. 2015. The impact of season, parity and breed on selected reproductive performance parameters of sows. *Archives Animal Breeding* **58**:49–56.
- Knox RV. 2003. The anatomy and physiology of sperm production in boars. University of Illinois, Urbana. Available from [http://www.ansci.wisc.edu/jjp1/pig\\_case/html/library/boara&p.pdf](http://www.ansci.wisc.edu/jjp1/pig_case/html/library/boara&p.pdf) (accessed December 2020).
- Kobek-Kjeldager C, Moustsen VA, Theil PK, Pedersen LJ. 2019. Effect of litter size, milk replacer and housing on behaviour and welfare related to sibling competition in litters from hyper-prolific sows. *Applied Animal Behaviour Science* **14**:824–833.
- Koketsu Y, Dial GD. 1997. Factors influencing the postweaning reproductive performance of sows on commercial farms. *Theriogenology* **47**:1445–1461.
- Koketsu Y, Takahashi H, Akachi K. 1999. Longevity, lifetime pig production and productivity, and age at first conception in a cohort of gilts observed over six years on commercial farms. *Journal of Veterinary Medical Science* **61**:1001–1005.
- Koketsu Y, Tani S, Iida R. 2017. Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. *Porcine Health Management* **3**:1–10.
- Kongsted AG, Hermansen JE. 2009. Sow body condition at weaning and reproduction performance in organic piglet production. *Acta Agriculturae Scandinavica* **59**:93–103.
- Kummer R, Bernardi ML, Wentz I, Bortolozzo FP. 2006. Reproductive performance of high growth rate gilts inseminated at an early age. *Animal Reproduction Science* **96**:47–53.
- Laderoute H, Bone C, Brewer D, Squire EJ. 2019. The synthesis of 16-androstene sulfoconjugates from primary porcine Leydig cell culture. *Steroids* **146**:14–20.
- Lavery A, Lawlor PG, Magowan E, Miller HM, O’driscoll K, Berry DP. 2018. An association analysis of sow parity, live-weight and back-fat depth as indicators of sow productivity. *Animal* **13**:622–630.

- Lawlor PG, Lynch PB. 2007. A review of factors influencing litter size in Irish sows. *Irish Veterinary Journal* **60**:1–8.
- Le Cozier Y, Dagorn J, Dourmad JY, Johansen S, Aumaître A. 1997. Effect of weaning-to-conception interval and lactation length on subsequent litter size in sows. *Livestock Production Science* **51**:1–11.
- Leenhouders JI, Van Der Lende T, Knol EF. 1999. Analysis of stillbirth in different lines of pig. *Livestock Production Science* **57**:243–253.
- Leman AD. 1992. Optimizing farrowing rate and litter size and minimizing nonproductive sow days. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice* **8**:609–621.
- Lerche H. 1936. Geschlechtsgeruch bei eberkastraten. *Fleisch Milchhyg* **46**:417–420.
- Madej A, Lang A, Brandt Y, Kindahl H, Madsen MT, Einarsson S. 2005. Factors regulating ovarian function in pigs. *Domestic Animal Endocrinology* **29**:347–361.
- Mei H, Yang C, Xie Q, Yang Y, Luo X, Jiao H, Gan L. 2019. Effects of  $\gamma$ -aminobutyric acid on aggressive behaviour, jejunum villus morphology, serum biochemical indicators and hippocampal neuropeptide mRNA levels in piglets at weaning with mixing. *Czech Journal of Animal Science* **64**:151–159.
- Mellagi APG, Panzardi A, Bierhals T, Gheller NB, Bernardi ML, Wentz I, Bortolozzo FP. 2013. The effect of parity order and lactation weight loss on subsequent reproductive performance of sows. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* **65**:819–825.
- Metzler-Zebeli BU, Ratriyanto A, Jezierny D, Sauer N, Eklund M, Mosenthin R. 2009. Effects of betaine, organic acids and inulin as single feed additives or in combination on bacterial populations in the gastrointestinal tract of weaned pigs. *Archives of Animal Nutrition* **63**:427–441.
- MZe. 2021. Komoditní karta vepřové maso prosinec 2021. Available from <https://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/zivocisna-vyroba/zivocisne-komodity/prasata/> (accessed December 2021).
- Missotten JAM, Michiels J, Owyn A, De Smet S, Dierick NA. 2015. Fermented liquid feed for weaned piglets: Impact of sedimentation in the feed slurry on performance and gut parameters. *Czech Journal of Animal Science* **60**:195–207.

- Mølbak L, Thomsen LE, Jensen TK, Bach Knudsen KE, Boye M. 2007. Increased amount of *Bifidobacterium thermacidophilum* and *Megasphaera elsdenii* in the colonic microbiota of pigs fed a swine dysentery preventive diet containing chicory roots and sweet lupine. *Journal of Applied Microbiology* **103**:1853–1867.
- Moody NW, Baker DS, Hays VW, Speer VC. 1969. Effect of reduced farrowing interval on sow productivity. *Journal of Animal Science* **28**:76–79.
- Moody NW, Speer VC. 1971. Factors affecting sow farrowing interval. *Journal of Animal Science* **32**:510–514.
- Morton JM, Langemeier AJ, Rathbun TJ, Davis DL. 2019. Immunocrit, colostrum intake, and preweaning body weight gain in piglets after split suckling based on birth weight or birth order. *Translational Animal Science* **3**:1460–1465.
- Moss BW, Hawe SM, Walker N. 1993. Sensory thresholds for skatole and indole. *Colloques de l'INRA (France)*, INRA.
- Moya SL, Boyle LA, Lynch PB, Arkins S. 2008. Effect of surgical castration on the behavioural and acute phase responses of 5-day-old piglets. *Applied Animal Behaviour Science* **111**:133–145.
- Nevrkla P, Václavková E, Hadaš Z, Kamanová V. 2017. Effect of birth weight of piglets on their growth ability, carcass traits and meat quality. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **65**:119–123.
- 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.
- Oliviero C. 2013. Management to improve neonate piglet survival. *Society for Reproduction and Fertility* **68**:203–210.
- Omtvedt IT, Stanislaw CM, Whatley JA. 1965. Relationship of gestation length, age and weight at breeding, and gestation gain to sow productivity at farrowing. *Journal of Animal Science* **24**:531-535.
- Øverland 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.
- Parois S, Bonneau M, Chevillon P, Larzul C, Quiniou N, Robic A, Prunier A. 2018. Odeurs indésirables de la viande de porcs mâles non castrés: problèmes et solutions potentielles. *INRA Productions Animales* **31**:23–26.

- Paßlack N, Vahjen W, Zentek J. 2015. Dietary inulin affects the intestinal microbiota in sows and their suckling piglets. *BMC Veterinary Research* **11**:1–8.
- Paterson AM, Barker I, Lindsay DR. 1980. Ovulation rate at first mating and reproductive performance of gilts. *Australian Veterinary Journal* **56**:442–443.
- Patterson RLS. 1968. 5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one: Compound responsible for taint in boar fat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **19**:31–38.
- Patterson RLS. 1982. Effect of season upon 5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one (boar taint) concentrations in the subcutaneous fat of commercial weight boars. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **35**:55–58.
- Pauly C, Spring P, O'Doherty JV, Kragten SA, 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.
- Peltoniemi O, Han T, Yun J. 2021. Coping with large litters: management effects on welfare and nursing capacity of the sow. *Journal of Animal Science and Technology* **63**:199–210.
- Pérez-Sato M, Cruz-Cortés A, Castro-González NP, Valencia-Franco E, Pérez-Martínez J, Escobar-Hernández R, Soní-Guillermo E. 2021. Evaluation of Surgical Castration vs Immunocastration in Fattening Pigs. *Agro Productividad* **14**:81–86.
- Pierce KM, Sweeney T, Brophy PO, Callan JJ, Fitzpatrick E, McCarthy P, O'Doherty, JV. 2006. The effect of lactose and inulin on intestinal morphology, selected microbial populations and volatile fatty acid concentrations in the gastrointestinal tract of the weanling pig. *Animal Science* **82**:311–318.
- Pokorná K, Čítek J, Zadinová K, Okrouhlá M, Lebedová N, Komosný M, Stupka R. 2020a. Influence of the use of nurse sows on their lifetime performance. *Czech Journal of Animal Science* **65**:97–103.
- Pokorná K, Čítek J, Zadinová K, Okrouhlá M, Lebedová N, Stupka R. 2020b. The Effect of Farming System Type on Piglet Production. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **68**:567–572.
- Pokorná K, Čítek J, Doležal P, Małopolska M, Tyra M, Okrouhlá M, Zadinová K, Šprysl M, Lebedová N, Stupka R. 2022. Changes of Androstenone Concentrations in Saliva of Boars with Age. *Animals* **12**:157.



- Prelog V, Ruzicka L. 1944. Untersuchungen über Organextrakte, 5. Mitteilung: Über zwei moschusartige reichende Steroide aus Schweinetestes Extrakten. *Helvetica Chimica Acta* **27**:61–66.
- Prunier A, Brillouët A, Merlot E, Meunier-Salaün MC, Tallet C. 2013. Influence of housing and season on pubertal development, boar taint compounds and skin lesions of male pigs. *Animal* **7**:2035–2043.
- Prunier A, Mounier AM, Hay M. 2005. Effects of castration, tooth resection, or tail docking on plasma metabolites and stress hormones in young pigs. *Journal of Animal Science* **83**:216–222.
- Randall GCB, Penny RHC. 1970. Stillbirth in the pig: an analysis of the breeding records of five herds. *British Veterinary Journal* **126**:593–603.
- Rius MA, García-Regueiro JA. 2001. Skatole and indole concentrations in *Longissimus dorsi* and fat samples of pigs. *Meat Science* **59**:285–291.
- Roberfroid MB, Van Loo JA, Gibson GR. 1998. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *The Journal of Nutrition* **128**:11–19.
- Roongsitthichai A, Koonjaenak S, Tummaruk P. 2010. Backfat thickness at first insemination affects litter size at birth of the first parity sows. *Agriculture and Natural Resources* **44**:1128–1136.
- Roongsitthichai A, Koonjaenak S, Tummaruk P. 2011. Association between backfat depth and litter size at birth in primiparous sows. *Agriculture and Natural Resources* **45**:422–427.
- Roongsitthichai A, Tummaruk P. 2014. Importance of backfat thickness to reproductive performance in female pigs. *The Thai Journal of Veterinary Medicine* **44**:171–178.
- Rosvold EM, Kielland C, Ocepek M, Framstad T, Fredriksen B, Andersen-Ranberg I, Næss G, Andersen IL. 2017. Management routines influencing piglet survival in loose-housed sow herds. *Livestock Science* **196**:1–6.
- Rozeboom DW, Pettigrew JE, Moser RL, Cornelius SG, El Kandelgy SM. 1996. Influence of gilt age and body composition at first breeding on sow reproductive performance and longevity. *Journal of Animal Science* **74**:138–150.
- Russell DA, Ross RP, Fitzgerald GF, Stanton C. 2011. Metabolic activities and probiotic potential of bifidobacteria. *International Journal of Food Microbiology* **149**:88–105.

- Ruszczyc Z, Fuchs B, Schleicher A, Skorupinska J. 1981. Fattening of boars. *Roczniki naukowe zootechniki. Monografie i rozprawy* **19**:211–219.
- Rutherford KMD, Baxter EM, D'eath RB, Turner SP, Arnott G, Roehe R, Ask B, Sandøe P, Moustsen VA, Thorup F, Edwards SA, Berg P, Lawrence AB. 2013. The welfare implications of large litter size in the domestic pig I: biological factors. *Animal Welfare* **22**:199–218.
- Rydhmer L, Lundeheim N, Canario L. 2008. Genetic correlations between gestation length, piglet survival and early growth. *Livestock Science* **115**:287–293.
- Rydhmer L, Lundström K, Andersson K. 2010. Immunocastration reduces aggressive and sexual behaviour in male pigs. *Animal* **4**:965–972.
- Rydhmer L, Zamaratskaia G, Andersson HK, Algers B, Guillemet R, Lundström K. 2006. Aggressive and sexual behaviour of growing and finishing pigs reared in groups, without castration. *Acta Agriculturae Scandinavica* **56**:109–119.
- Saarela M, Mogensen G, Fonden R, Mättö J, Mattila-Sandholm T. 2000. Probiotic bacteria: safety, functional and technological properties. *Journal of Biotechnology* **84**:197–215.
- Scipioni R, Martelli G, Volpelli LA. 2009. Assessment of welfare in pigs. *Italian Journal of Animal Science* **8**:117–137.
- Segura M, Martínez-Miró S, López MJ, Madrid J, Hernández F. 2020. Effect of parity on reproductive performance and composition of sow colostrum during first 24 h postpartum. *Animals* **10**:1853.
- Self HL. 1957. The problem of pork odor. In *Proceeding of 9<sup>th</sup> Meat Institute Foundation Conference, University of Chicago* **9**:53.
- Sellier P, Le Roy P, Fouilloux MN, Gruand J, Bonneau M. 2000. Responses to restricted index selection and genetic parameters for fat androstenone level and sexual maturity status of young boars. *Livestock Production Science* **63**:265–274.
- Senčić D, Antunović Z, Kanisek J, Šperanda M. 2005. Fattening, meatness and economic efficiency of fattening pigs. *Acta Veterinaria (Beograd)* **55**:327–334.
- Serenius T, Stalder KJ. 2004. Genetics of length of productive life and lifetime prolificacy in the Finnish Landrace and Large White pig populations. *Journal of Animal Science* **82**:3111–3117.

- Schenkel AC, Bernardi ML, Bortolozzo FP, Wentz I. 2010. Body reserve mobilization during lactation in first parity sows and its effect on second litter size. *Livestock Science* **132**:165–172.
- Schukken YH, Buurman J, Huirne RBM, Willemse AH, Vernooy JCM, van den Broek J, Verheijden JHM. 1994. Evaluation of optimal age at first conception in gilts from data collected in commercial swine herds. *Journal of Animal Science* **72**:1387–1392.
- Soede NM, Hoving LL, van Leeuwen JJ, Kemp B. 2013. The second litter syndrome in sows; causes, consequences and possibilities of prevention. In *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Pig Reproduction, Satellite Symposium* 28–34.
- Soede NM, Kemp B. 2015. *The gestating and lactating sow*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- Squires EJ, Lundstrøm K. 1997. Relationship Between Cytochrome P450IIE1 in Liver and Levels of Skatole and Its Metabolites in Intact Male Pigs. *Journal of Animal Science* **75**:2506–2511.
- Škrlep M, Šegula B, Zajec M, Kastelic M, Košorok S, Fazarinc G, Čandek-Potokar M. 2010. Effect of immunocastration (Improvac®) in fattening pigs I: Growth performance, reproductive organs and malodorous compounds. *Slovenian Veterinary Research* **47**:57–64.
- Tajet H, Andresen Ø. 2006. Estimation of genetic parameters of boar taint; skatole and androstenone and their correlations with sexual maturation. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48**:1–4.
- Tantasuparuk W, Lundeheim N, Dalin AM, Kunavongkrit A, Einarsson S. 2001. Weaning-to-service interval in primiparous sows and its relationship with longevity and piglet production. *Livestock Production Science* **69**:155–162.
- Thaker MYC, Bilkei G. 2005. Lactation weight loss influences subsequent reproductive performance of sows. *Animal Reproduction Science* **88**:309–318.
- Thongkhuy S, Chuaychu SB, Burarnrak P, Ruangjoy P, Juthamanee P, Nuntapaitoon M, Tummaruk P. 2020. Effect of backfat thickness during late gestation on farrowing duration, piglet birth weight, colostrum yield, milk yield and reproductive performance of sows. *Livestock Science* **234**:1–8.

- Thun R, Gajewski Z, Janett F. 2006. Castration in male pigs: techniques and animal welfare issues. *Journal of physiology and pharmacology: an official journal of the Polish Physiological Society* **57**:189–194.
- Tummaruk P, Lundeheim N, Einarsson S, Dalin AM. 2001. Effect of birth litter size, birth parity number, growth rate, backfat thickness and age at first mating of gilts on their reproductive performance as sows. *Animal Reproduction Science* **66**:225–237.
- Tzortzis G, Goulas AK, Gee JM, Gibson GR. 2005. A novel galactooligosaccharide mixture increases the bifidobacterial population numbers in a continuous in vitro fermentation system and in the proximal colonic contents of pigs *in vivo*. *The Journal of Nutrition* **135**:1726–1731.
- Van Wettere WHEJ, Revell DK, Mitchell M, Hughes PE. 2006. Increasing the age of gilts at first boar contact improves the timing and synchrony of the pubertal response but does not affect potential litter size. *Animal Reproduction Science* **95**:97–106.
- Varley MA, Cole DJA. 1976. Studies in sow reproduction 5. The effect of lactation length of the sow on the subsequent embryonic development. *Animal Science* **22**:79–85.
- Vhile SG, Kjos NP, Sørum 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.
- Vold E. 1970. Fleischproduktionseigenschaften bei Ebern und Kastraten IV: Organoleptische und gaschromatographische Untersuchungen wasserdampfvlüchtiger Stoffe des Rückenspeckes von Ebern. *Meld Nor Landbrukshogsk* **49**:25.
- Von Borell E, Baumgartner J, Giersing M, Jäggin N, Prunier A, Tuyttens FAM, Edwards SA. 2009. Animal welfare implications of surgical castration and its alternatives in pigs. *Animal* **11**:1488-1496.
- Walker N. 1980. The effect of controlled growth rate on the performance of boars and on the odour of subcutaneous fat at 85 and 122 kg live weight. *Livestock Production Science* **7**:163–173.
- 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

- androstenedione and skatole for boar taint: levels of androstenedione and skatole by country and season. *Livestock Production Science* **62**:15–28.
- Walstra P, Marse H. 1970. Investigation into sex odour of entire male pigs. IVO-Report C-147 (Sept 1970) 30.
- Wang W, Chen D, Yu B, Huang Z, Luo Y, Zheng P, Xiangbin M, Yu J, Luo J, He J. 2019. Effect of Dietary Inulin Supplementation on Growth Performance, Carcass Traits, and Meat Quality in Growing–Finishing Pigs. *Animals* **9**:840.
- Warriss PD. 1998. The welfare of slaughter pigs during transport. *Animal welfare* **7**:365–381.
- Wesoly R, Stefanski V, Weiler U. 2016. Influence of sampling procedure, sampling location and skin contamination on skatole and indole concentrations in adipose tissue of pigs. *Meat Science* **111**:85–91.
- Willeke H, Claus R, Pirchner F, Alsing W. 1980. A selection experiment against 5 $\alpha$ -androst-16-en-3-one, the boar taint steroid, in adipose tissue of boars. *Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie* **97**:86–94.
- Williams LD, Pearson AM, Webb NB. 1963. Incidence of sex odor in boars, sows, barrows and gilts. *Journal of Animal Science* **22**:166–168.
- Xue JL, Dial GD, Holton EE, Vickers Z, Squires EJ, Lou Y, Godbout D, Morel N. 1996. Breed differences in boar taint: relationship between tissue levels boar taint compounds and sensory analysis of taint. *Journal of Animal Science* **74**:2170–2177.
- Xue JL, Dial GD, Marsh WE, Davies PR, Momont HW. 1993. Influence of lactation length on sow productivity. *Livestock Production Science* **34**:253–265.
- Xue JL, Dial GD, Marsh WE, Lucia T. 1997. Association between lactation length and sow reproductive performance and longevity. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **210**:935–938.
- Yokoyama MT, Carlson JR. 1979. Microbial metabolites of tryptophan in the intestinal tract with special reference to skatole. *The American Journal of Clinical Nutrition* **32**:173–178.
- Young LG, King GJ. 1981. Reproductive performance of gilts bred on first versus third estrus. *Journal of Animal Science* **53**:19–25.
- Yun J, Ollila A, Valros A, Larenza-Menzies P, Heinonen M, Oliviero C, Peltoniemi O. 2019. Behavioural alterations in piglets after surgical castration: Effects of analgesia and anaesthesia. *Research in Veterinary Science* **125**:36–42.

- Zamaratskaia G, Babol J, Andersson HK, Andersson K, Lundström K. 2005b. Effect of live weight and dietary supplement of raw potato starch on the levels of skatole, androstenone, testosterone and oestrone sulphate in entire male pigs. *Livestock Production Science* **93**:235–243.
- Zamaratskaia G, Rydhmer L, Chen G, Madej A, Andersson HK, Lundström K. 2005a. Boar Taint is Related to Endocrine and Anatomical Changes at Puberty but not to Aggressive Behaviour in Entire Male Pigs. *Reproduction in Domestic Animal* **40**:500–506.
- Zammerini D, Wood JD, Whittington FM, Nute GR, Hughes SI, Hazzledine M, Matthews K 2012. Effect of dietary chicory on boar taint. *Meat Science* **91**:396–401.

## 8. Seznam zkratek

ABP – androgen binding protein; androgen vázající protein

AND – 5 $\alpha$ -androst-16-en-3-on

$\alpha$ -AND – 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\alpha$ -ol

$\beta$ -AND – 5 $\alpha$ -androst-16-en-3 $\beta$ -ol

ACTH – adrenocorticotropic hormone; adrenokortikotropní hormon

ČSÚ – Český statistický úřad

EFSA – The European Food Safety Authority; Evropský úřad pro bezpečnost potravin

FSH – follicle-stimulating hormone; folikulostimulační hormon

GC-MS – gas chromatography-mass spektrometry; plynová chromatografie-hmotnostní spektrometrie

GnRF – gonadotropin-releasing factor; gonadotropiny uvolňující faktor

GnRH – gonadotropin-releasing hormon; gonadotropiny uvolňující hormon

HA – high androstenone; vysoká hladina androstenonu

JUT – jatečně upravené tělo

LA – low androstenone; nízká hladina androstenonu

MZe – Ministerstvo zemědělství

pH – potential of hydrogen; potenciál vodíku