

加拿大 饲料豌豆

畜牧业和水产养殖业饲料豌豆使用指南

2021年饲料行业指南，第4版



前言

加拿大是世界上最大的饲料豌豆生产国，也是饲料豌豆的主要出口国。大草原地区是豌豆的理想种植地区，能实现环保、可持续的豌豆生产。随着食品市场和饲料市场对优质、可持续蛋白质的需求日益增加，加拿大的豌豆产量从2003年的240万吨增至2020年的400万吨。加拿大的豌豆主要出口到中国、印度、孟加拉国、美国等国家。在饲料需求的推动下，出口到中国的豌豆增长尤为迅猛。饲料豌豆在加拿大是常用的饲料原料，特别是在猪饲料中应用广泛，也有大量的豌豆等豆类销往宠物食品市场。另外，随着各种豌豆衍生品的食品和非食品应用的迅速增长，浓缩淀粉和浓缩蛋白（组分）的产量也再增加。。

自从2003年首次发布《加拿大饲料豌豆行业指南》以来，研究人员用不同种类动物开展了大量的豌豆及组分饲用研究。本指南是最新版本，旨在为饲料豌豆的使用提供实用信息。

本指南的新内容：

- 加拿大饲料豌豆的生产和市场近况
- 营养成分信息的扩展和更新
- 新增豌豆组分营养成分和最新研究
- 更新农场动物饲喂信息
- 更新饲料豌豆与其他饲料原料的标杆价格和营养成分比较
- 新增牲畜饲喂豌豆的可持续性新研究

目录

1	1. 加拿大饲料豌豆产业简介
2	2. 饲料豌豆的营养成分
13	3. 饲料豌豆组分在饲料行业的应用
18	4. 饲喂豌豆和豌豆组分经济效益
19	5. 饲料豌豆和饲料豌豆组分在家禽饲料中的应用
28	6. 饲料豌豆和饲料豌豆组分在猪饲料中的应用
33	7. 饲料豌豆在反刍动物饲料中的应用
46	8. 饲料豌豆和豌豆浓缩蛋白在水产饲料中的应用
55	9. 饲喂饲料豌豆的可持续性影响：案例研究
64	致谢
65	参考文献

1 加拿大饲料豌豆产业简介

加拿大的豆类作物种类繁多，主要有豌豆、扁豆和鹰嘴豆，其中，豌豆（*Pisum sativum*）是豆科豌豆属植物。加拿大的豌豆产量中有一部分用于饲喂动物，作为饲料豌豆进行交易。豌豆的主要种植地区是加拿大西部等寒温带地区。豌豆粒的形状有圆的，有角状的，也有块状的。豌豆表皮有的光滑，有的起皱。大部分豌豆品种呈圆形或近圆形。加拿大种植的饲料豌豆品种包括黄色子叶豌豆、绿色子叶豌豆、大青豌豆、枫豌豆和奥地利冬豌豆等。黄色子叶豌豆和绿色子叶豌豆是加拿大最常见的饲料豌豆品种，广泛应用于人类食品、牲畜饲料和宠物食品的生产。本指南将黄色子叶豌豆和绿色子叶豌豆称为饲料豌豆或豌豆。

表1.1 豌豆的产量和出口量（加拿大农业与农业食品部，2020年；加拿大统计局，2020年）

	2018-2019年	2019-2020年	2020-2021年
种植面积（千公顷）	1,463	1,753	1,722
收获面积（千公顷）	1,431	1,711	1,690
单产量（吨/公顷）	2.50	2.48	2.51
总产量（千吨）	3,581	4,237	4,250
出口量（千吨）	3,270	3,700	3,400

加拿大是世界上最大的饲料豌豆生产国，也是饲料豌豆的主要出口国。加拿大2020-2021年的豌豆产量预计达到425万吨。据加拿大农业与农业食品部预测，加拿大2020年的豌豆出口量约为340万吨，主要出口到中国、孟加拉国和美国（表1.1）。

2 饲料豌豆的营养成分

豌豆的蛋白质含量和淀粉含量较高，属于多功能饲料原料。常用饲料豌豆（黄豌豆和绿豌豆）之间的营养成分差异很小。其他豌豆品种的营养成分可能有所差异，不过这种豌豆一般仅占商贸饲料豌豆的一小部分，不影响饲料豌豆的整体营养指标。表2.1是饲料豌豆的营养成分表。本指南使用的营养价值数据有多个数据来源，代表了饲料豌豆的平均营养价值。文章中各个营养成分按照9.5%的平均水分含量将干物质值转换为原样值。事实上，豌豆的水分含量因来源而异。

表2.1 饲料豌豆的营养成分（美国国家研究委员会，2012年）

营养成分（%）	平均值（原样） ^h	平均值（干物质）
干物质	88.1	
粗蛋白	22.2	25.2
粗脂肪	1.2	1.4
淀粉	43.5	49.4
灰分	2.9	3.3
粗纤维	6.2	6.8
酸性洗涤纤维	6.9	7.6
中性洗涤纤维	12.8	14.1



蛋白质和氨基酸

豌豆是优质蛋白来源。除了含硫氨基酸外，豌豆蛋白的其他氨基酸谱较为平衡。按干物质计算，豌豆的平均蛋白质含量约25.2%。单胃动物的豌豆蛋白质消化率相对较高（表2.2），瘤胃的豌豆蛋白降解率很高。

豌豆蛋白以白蛋白和球蛋白为主，分别占总蛋白的10~20%和70~80%。白蛋白是水溶性代谢蛋白，球蛋白是盐溶性贮藏蛋白。豌豆的球蛋白主要由豆球蛋白（300~400千道尔顿）和豌豆球蛋白（150~170千道尔顿）组成。豌豆的白蛋白（5~80千道尔顿）由酶、蛋白酶抑制因子、淀粉酶抑制因子和凝集素组成。白蛋白主要含两种蛋白质，一种是两个多肽组成的较大的白蛋白（25千道尔顿），另一种是较小的白蛋白（6千道尔顿）。白蛋白还含有含量较低的醇溶蛋白和麦谷蛋白（Tömösközi等人，2001年；Boye等人，2010年；Mertens等人，2012年；Lam等人，2018年）。

豌豆的必需氨基酸含量较高，尤其是赖氨酸、精氨酸和亮氨酸的含量（表2.2）。就像其他豆类作物一样，豌豆的蛋氨酸含量和半胱氨酸含量相对较低。卡诺拉菜粕（简称“菜粕”）的蛋氨酸含量和半胱氨酸含量较高，将菜粕和豌豆搭配使用加入动物饲料能很好地实现氨基酸平衡。

表2.2是按原样比例、干物质比例和粗蛋白校正比例列示的饲料豌豆的氨基酸含量。表2.2还列示了猪和家禽的回肠氨基酸标准消化率。

表2.2 饲料豌豆的氨基酸含量组成及猪和牲畜的回肠氨基酸标准消化率

氨基酸	氨基酸含量 (%)		粗蛋白比例（ 粗蛋白的原样 比例：22.2%）	回肠标准消化率 (%)	
	原样 ^a	干物质		猪 ^b	家禽 ^c
精氨酸	1.91	2.11	8.60	90	87
组氨酸	0.53	0.59	2.39	82	82
异亮氨酸	0.94	1.04	4.23	81	77
亮氨酸	1.56	1.72	7.03	81	76
赖氨酸	1.63	1.80	7.34	85	85
蛋氨酸	0.21	0.23	0.95	77	73



表2.2 饲料豌豆的氨基酸含量组成及猪和牲畜的回肠氨基酸标准消化率（续）

氨基酸	氨基酸含量（%）		粗蛋白比例（ 粗蛋白的原样 比例：22.2%）	回肠标准消化率（%）	
	原样 ^a	干物质		猪 ^b	家禽 ^c
蛋氨酸+半胱氨酸	0.52	0.57	2.34	73 ^d	68
苏氨酸	0.83	0.92	3.74	76	78
色氨酸	0.21	0.23	0.95	69	66
缬氨酸	1.03	1.14	4.64	78	72
丙氨酸	0.95	1.05	4.28	77	
天冬氨酸	2.56	2.83	11.53	82	
半胱氨酸	0.31	0.34	1.40	68	65
谷氨酸	3.87	4.28	17.43	86	
甘氨酸	0.95	1.05	4.28	79	
脯氨酸	0.94	1.04	4.23	97	
丝氨酸	1.05	1.16	4.73	79	
酪氨酸	0.59	0.65	2.66	78	

^a按9.5%的水分含量^b美国国家研究委员会（2012年）^cAMINODat® 4.0^d美国国家研究委员会（2012年）蛋氨酸和半胱氨酸的平均值



脂肪

豌豆的粗脂肪含量为1.2%（原样，美国国家研究委员会2012年报告）。饲料豌豆的脂肪酸组成类似于谷类的脂肪酸组成。豌豆的总饱和脂肪酸含量约占总脂肪酸含量的21.5%。单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸分别占总脂肪酸的30.2%和48.4%。 α 亚麻酸（n-3）和亚油酸（n-6）占总脂肪酸的9.1%和39.2%（Ciurescu等人，2018年）。

碳水化合物

豌豆的碳水化合物以淀粉和纤维为主，淀粉的平均含量40~50%，纤维的平均含量10~20%。表2.3是饲料豌豆的碳水化合物组成表。淀粉由直链淀粉和支链淀粉组成。豌豆淀粉的直链淀粉含量较高（35~65%），慢消化淀粉含量和抗性淀粉含量大于小麦和玉米。研究显示，慢消化淀粉能为单胃动物的后肠微生物群提供能量，能增加妊娠母猪的饱腹感（Herwig等人，2019年）。

豌豆壳（种皮/外层纤维）和子叶（内层纤维）是豌豆膳食纤维的主要来源。豌豆壳主要由纤维素等非水溶性纤维组成，子叶主要涉及半纤维素、果胶和纤维素。Tosh和Yada（2010年）的研究显示，在140~260克/公斤的总膳食纤维中，约有20~90克/公斤为可溶性膳食纤维。豌豆约含6.2%低聚糖、1.3%蔗糖、0.9%棉子糖、2.3%水苏糖和1.7%毛蕊花糖。豌豆的低聚糖可能对单胃动物起到益生元的作用。





表2.3 饲料豌豆的碳水化合物组成

成分	平均值（原样） ^a	平均值（干物质）
淀粉	40.6	44.9
游离葡萄糖	0.02	0.03
蔗糖	1.3	1.5
棉子糖	0.9	1.0
水苏糖	2.3	2.6
毛蕊花糖	1.7	1.9
粗纤维	5.7	6.3
中性洗涤纤维	18.9	20.9
酸性洗涤纤维	6.1	6.8
木质素	0.5	0.5

上表数据摘自Tosh和Yada（2010年）、Adamidou等人（2011年）、Dahl等人（2012年）、Ciurescu等人（2018年）的研究报告

^a 按9.5%的水分含量.



维生素和矿物质

豌豆中含量最高的矿物质是钾，含量一般为1.04~1.18%（干物质，去壳重量），其次是磷（0.39~0.45%）、镁（0.10~0.14%）和钙（0.08~0.10%）。平均来看，豌豆含0.0097%铁、0.0042%硒、0.0041%锌、0.0012%钼、0.0011%锰、0.0009%铜及0.0004%硼。由于豌豆中的植酸盐抑制了磷、锌、铁、钙的吸收，豌豆矿物质的生物有效性较低。谷类通常也含有植酸，在饲料中添加植酸酶能提高消化率。目前有关豌豆维生素含量的资料很少。从有限的资料来看，每100克豌豆干物质含0.73毫克硫胺素（维生素B1）和0.15毫克核黄素（B2）。每100克豌豆还含有0.101毫克叶酸（Reichert和MacKenzie, 1982年；Dang等人, 2000年；Sandberg, 2002年）。

能量

总的来说，豌豆是畜牧业生产中的优质能量来源。在家禽饲料中，豌豆含2805千卡/公斤氮校正表观代谢能（AMEn），在猪饲料中，豌豆含2419千卡/千克净能（NE），在反刍动物饲料中，豌豆含1330千卡/千克增重净能（NEg）。

豌豆在猪饲料中的应用较为广泛，其能量略高于其他高蛋白原料。猪饲料豌豆的净能值（原样）略低于玉米（2672千卡/公斤），与小麦（2472千卡/公斤）和大麦（2327千卡/公斤）相当。根据可消化能（DE）或代谢能（ME）配制猪饲料会高估饲料豌豆的能量值，如果以高估的饲料豌豆能量值为基础配制饲料，就会在增加饲料的豌豆配比时低估饲料的能量含量。净能系统能更准确地预测豌豆真正的能量含量，避免在猪饲料中添加豌豆时影响猪的生长性能。

家禽饲料中豌豆的氮校正表观代谢能为2805千卡/公斤，家禽饲料中玉米的氮校正表观代谢能约为3800千卡/公斤。除非在饲料中添加其他浓缩能量原料提高能量水平，否则难以将豌豆用于肉鸡饲料。豌豆中的慢消化淀粉是导致豌豆的氮校正表观代谢能下降的主要因素。挤压等饲料加工工艺能提高淀粉的消化率，从而为增加牲畜饲料中的豌豆添加比例提供了可能性。饲料加工对氮校正表观代谢能和淀粉消化率的影响参见本指南的牲畜部分。

在牛饲料中，豌豆的能量值高于其他谷类原料。豌豆的蛋白质和淀粉在瘤胃中的降解率较高。



表2.4 饲料豌豆的能量水平

成分	平均值（原样） ^d	平均值（干物质）
AMEn（家禽） ^a	2805	3100
DE（猪） ^b	3504	3871
ME（猪） ^b	3240	3580
NE（猪） ^b	2419	2672
TDN（反刍动物） ^c , %	78	86
DE（反刍动物） ^c	3470	3834
ME（反刍动物） ^c	3080	3403
NEG（反刍动物） ^c	1330	1470
NEL（反刍动物） ^c	1810	2000

^aCiurescu等人（2018年）；^b 美国国家研究委员会（2012年）；^c 加拿大饲料豌豆行业指南（2003年）；^d 按9.5%的水分含量计算

AMEn: 氮校正表观代谢能；

DE: 可消化能；NE: 净能；

TDN: 可消化总养分；NEG: 增重净能；NEL: 泌乳净能



抗营养因子

跟其他豆类作物和豆科植物相似，豌豆的抗营养因子主要包括胰蛋白酶抑制因子、植酸和单宁（表2.5）。饲料豌豆的胰蛋白酶抑制因子含量明显低于豆粕和鹰嘴豆，植酸含量处于平均水平。加拿大的豌豆种植以白花品种为主，百花豌豆的单宁含量较低。

哺乳动物和鸡饲料中的胰蛋白酶抑制因子含量太高时，会影响蛋白质的消化率，抑制哺乳动物和鸡的生长，胰蛋白酶抑制因子含量太高时，还会引起鱼胰腺肥大。豌豆的胰蛋白酶抑制因子含量相对较低。

所有植物原料都含有植酸，即肌醇六磷酸。植酸会降低钙、镁、锌的有效性。在单胃动物饲料中使用植酸酶能最大程度地降低植酸的抗营养因子效应。反刍动物的瘤胃微生物能产生植酸酶，降解植物原料中的大部分植酸，外源植酸酶对反刍动物的影响很小（Humer和Zebeli，2015年）。单宁是一种多酚类化合物，与消化酶或蛋白质、矿物质等营养物质结合影响消化过程。单宁还会减少维生素B-12的吸收。加拿大的豌豆种植以白花品种为主，单宁含量较低，不会给动物的生产性能带来负面影响。

表2.5 饲料行业中用作蛋白原料的不同饲料原料的抗营养因子含量（Adamidou等人，2011年）

抗营养因子（ 克/100克）	饲料豌豆		豆粕		蚕豆		鹰嘴豆	
	原样 ^a	DM	原样 ^a	DM	原样 ^a	DM	原样 ^a	DM
胰蛋白酶抑制因子	0.24	0.27	1.32	1.46	0.19	0.22	1.33	1.47
植酸	1.0	1.2	0.3	0.4	2.8	3.2	1.9	2.1
单宁总量	0.7	0.8	0.1	0.1	1.1	1.3	0.4	0.5

^a 按9.5%的水分含量

总体而言，饲料豌豆的抗营养因子对动物的生产性能和营养物质消化率影响很小，应该不影响豌豆在动物饲料中的使用。



饲料豌豆与其他饲料原料的营养成分比较

豌豆是畜牧业生产中常用的豆类饲料原料。表2.6是四种常用饲料原料的比较情况。饲料豌豆的蛋白质含量低于豆粕和蚕豆，但淀粉含量高，能为猪提供较高的净能。饲料豌豆和蚕豆与豆粕和玉米相比，脂肪含量较低，纤维含量较高。

表2.6 饲料豌豆与其他原料的营养成分（原样%）比较（美国国家研究委员会2012年报告；美国国家研究委员会1994年报告）

营养成分（原样%）	饲料豌豆	豆粕	蚕豆	玉米
干物质	88.10	88.79	88.12	88.31
AMEn（千卡/公斤）（鸡）	2709	2230	2249	3350
NE（千卡/公斤）（猪）	2419	2148	2143	2672
粗蛋白	22.17	43.90	27.16	8.24
粗脂肪	1.2	1.24	1.30	3.48
粗纤维	6.16	6.60	8.55	1.98
灰分	2.86	6.38	3.43	1.30
淀粉	43.46	1.89	39.22	62.55
中性洗涤纤维	12.84	9.82	13.29	9.11
酸性洗涤纤维	6.90	6.66	10.33	2.88

饲料豌豆组分在饲料行业的应用



豌豆通常在磨粉后加入颗粒饲料或粉状饲料。近年来，淀粉、蛋白质、纤维（豌豆壳）等豌豆组分的使用日益普遍。风选豌豆淀粉（附录四第4.6.46条）、豌豆浓缩蛋白（或豌豆蛋白第5.3.59条）、湿磨豌豆蛋白（第5.3.16条）、豌豆可溶物（第4.25条）和豌豆渣（第4.26条）已经成为加拿大食品检验局1983年《饲料条例》批准的饲料原料。

风选法和水溶液提取法是豌豆组分的主要生产方法，风选法的使用尤为普遍。水溶液提取法包括碱性提取法、中性提取法和酸性提取法，提取后通常需要进行等电点沉淀或超滤。风选法先将豌豆磨成较小的颗粒，再根据大小和密度将颗粒分成蛋白质和淀粉。风选法与水溶液提取法相比耗能较少，成本较低，组分功能受损较小。在食品应用中，水溶液提取法的抗营养因子去除效率较高，组分纯度高，比风选法更具优势（Vogelsang-O'Dwyer等人，2020年）。

豌豆风选组分可用于饲料行业。豌豆淀粉主要应用于家禽饲料和猪饲料，起到提供能量、颗粒饲料粘合剂的作用。豌豆的纤维组分主要作为益生元应用于饲料和人类食品。棉子低聚糖（ α 半乳糖、水苏糖和毛蕊花糖）能促进后肠发酵，是作为益生元使用的豌豆纤维（Schneeman，2001年）。豌豆纤维还能提高保水能力，增加脂肪，改良食品质构（Tosh和Yada，2010等人）。豌豆纤维也是低热量宠物食品的常用原料。

风选豌豆浓缩蛋白的营养成分

表3.1、表3.2和表3.3分别是豌豆浓缩蛋白（PPC）的营养成分表、氨基酸成分表和抗营养因子成分表。豌豆浓缩蛋白浓缩了豌豆蛋白质，是优质的人类食品原料，同时也应用于某些动物饲料，主要面向水产养殖饲料（代替鱼粉）、宠物食品、断奶仔猪饲料等高价值饲料。豌豆浓缩蛋白与豆粕相比，蛋白质含量相当，赖氨酸含量较高，适合作为蛋白质饲料原料。虽然经过蛋白质浓缩，豌豆浓缩蛋白的胰蛋白酶抑制因子含量高于整粒豌豆（表3.3），但仍然远低于豆粕的胰蛋白酶抑制因子含量。因此，胰蛋白酶抑制因子含量应该不会限制豌豆浓缩蛋白在动物饲料中的使用。



表3.1 风选豌豆浓缩蛋白的营养成分（Gunawardena等人，2010年）

营养成分	原样 (%) ^a	干物质 (%)
淀粉	10.7	11.82
粗蛋白	46.5	51.38
粗纤维	0.92	1.01
粗脂肪	2.58	2.85
灰分	4.87	5.38
钙	0.08	0.09
磷	0.75	0.83

^a按9.5%的水分含量.



表3.2 风选豌豆浓缩蛋白的氨基酸成分（Gunawardena等人，2010年）

氨基酸	原样 (%) ^a	干物质 (%)
精氨酸	3.87	4.27
组氨酸	1.11	1.22
异亮氨酸	1.98	2.18
亮氨酸	3.40	3.75
赖氨酸	3.54	3.91
蛋氨酸	0.42	0.46
苯丙氨酸	2.30	2.54
苏氨酸	1.63	1.80
色氨酸	0.46	0.50
缬氨酸	2.20	2.43
丙氨酸	1.95	2.15
天冬氨酸	5.17	5.71
半胱氨酸	0.58	0.64
谷氨酸	7.29	8.05
甘氨酸	1.89	2.08
丝氨酸	1.89	2.08
酪氨酸	1.54	1.70

^a按9.5%的水分含量.

表3.3 风选豌豆浓缩蛋白的抗营养因子成分（Gunawardena等人，2010年）

抗营养因子（克/100克）	原样 ^a	干物质
单宁	0.75	0.83
胰蛋白酶抑制因子活性	0.45	0.5

^a按9.5%的水分含量。

风选豌豆浓缩淀粉的营养成分

风选豌豆淀粉浓缩物是豌豆空气分级的主要副产品。表3.4、表3.5和表3.6分别是营养成分表、氨基酸成分表和抗营养因子成分表。淀粉浓缩物的淀粉含量达到68.9%，蛋白质含量7.56%，脂肪含量0.54%，豌豆粒的淀粉含量为37.3%。浓缩淀粉易于被生长猪消化，可用于代替玉米淀粉等淀粉（Gunawardena等人，2010年）。在泌乳母猪饲料中添加20%风选豌豆浓缩淀粉代替部分小麦能在母猪断奶时改善母猪体况（Thingnes等人，2013年）。

表3.4 风选豌豆浓缩淀粉的营养成分（Gunawardena等人，2010年）

抗营养因子（克/100克）	原样 ^a	干物质
淀粉	68.9	76.1
粗蛋白	7.56	8.35
粗纤维	0.86	0.95
粗脂肪	0.54	0.59
灰分	1.19	1.31
钙	0.030	0.033
磷	0.15	0.16

^a按9.5%的水分含量。

表3.5 风选豌豆浓缩淀粉的氨基酸成分（Gunawardena等人，2010年）

氨基酸	原样 (%) ^a	干物质 (%)
精氨酸	0.55	0.60
组氨酸	0.17	0.18
异亮氨酸	0.29	0.32
亮氨酸	0.49	0.54
赖氨酸	0.54	0.59
蛋氨酸	0.07	0.08
苯丙氨酸	0.33	0.36
苏氨酸	0.28	0.30
色氨酸	0.07	0.08
缬氨酸	0.34	0.37
丙氨酸	0.33	0.36
天冬氨酸	0.86	0.95
半胱氨酸	0.14	0.15
谷氨酸	1.40	1.54
甘氨酸	0.36	0.39
丝氨酸	0.32	0.35
酪氨酸	0.20	0.22

^a按9.5%的水分含量.

表3.6 风选豌豆浓缩蛋白的抗营养因子成分（Gunawardena等人，2010年）

抗营养因子（克/100克）	原样 ^a	干物质
单宁	0.20	0.22
胰蛋白酶抑制因子活性	0.05	0.06

^a按9.5%的水分含量。

饲喂豌豆和豌豆组分经济效益

饲料成本在畜牧业生产成本中占比很大。减少饲料中的进口饲料原料能极大地降低饲料成本。因此，有必要对饲料豌豆等产量高、经济效益好的地区性饲料原料展开研究。

豌豆的蛋白质含量非常高，淀粉含量也比较高，可以添加到大部分饲料中，减少玉米、豆粕等蛋白原料的用量。豌豆常用于代替饲料中的玉米等谷物类原料及豆粕等蛋白原料。

本研究中心以猪养殖户的标准配方为基础，采用成本最低的饲料配方，为每一种饲料原料取2020年2月至2021年期间的10个交易价格，根据营养成分和竞争饲料原料价格估算豌豆价格。豌豆价格计算公式如下：

豌豆价格 = （玉米价格 × 80%） + （豆粕价格 × 27%）。



饲料豌豆和饲料豌豆组分在家禽饲料中的应用

豆粕是畜牧业常用的植物蛋白原料。由于植物蛋白原料价格波动，饲料行业对植物蛋白原料的整体需求不断上升，因此，很有必要寻找植物蛋白原料的替代原料。豌豆的营养价值高，可以代替家禽饲料中的部分豆粕等蛋白原料及玉米等能量原料。在家禽饲料中添加豌豆/豌豆制品时，必须确保饲料的氨基酸平衡，并进行充分的加工。

家禽饲喂豌豆的注意事项

给家禽饲喂豌豆需要注意几个方面的问题。首先，宜在家禽饲料中添加20~30%的豌豆，以不影响家禽的生产性能为准。表4. 1是根据以往研究结果推荐的家禽饲料的豌豆添加比例。

其次，在饲料配比得当的情况下，可以在家禽饲料中添加20%的豌豆且不影响家禽的生产性能。2017年，Proskina和Cerina在欧洲研究了用豌豆和蚕豆代替饲料中一部分大豆的可行性。他们分别按10%和20%的比例在肉鸡商品颗粒饲料中添加2种本地种植的豌豆，以代替豆粕，结果显示，添加20%豌豆能增加增重，提高饲料转化率，降低生产成本，说明在肉鸡饲料中添加豌豆是可行的。

豌豆的赖氨酸含量较高，蛋氨酸和半胱氨酸的含量较低，而家禽生产一般对氨基酸要求较高。因此，必须进行适当的处理，使添加豌豆的家禽饲料实现氨基酸平衡。菜粕富含蛋氨酸和半胱氨酸，并含有适量赖氨酸。菜粕和豌豆混合加入家禽饲料可有效实现氨基酸平衡。大部分饲料通过添加蛋氨酸补充剂确保饲料的氨基酸平衡。豌豆淀粉还能提高颗粒料的品质，改善肉鸡生产性能。

表4.1 家禽饲料中的饲料豌豆建议添加比例

家禽品种	饲料中的建议添加比例（%）
蛋鸡	30
肉鸡	20
火鸡	30

加工

豌豆加工有利于提高营养质消化率、能量存留率和家禽生产性能。淀粉消化率的影响因素很多，包括淀粉特性、淀粉颗粒对消化酶的敏感性、动物的肠道状况等。饲料加工能打破细胞壁，改变淀粉颗粒大小，提高家禽饲料中豌豆淀粉的消化率，主要方法包括研磨、制粒和挤压。豌豆淀粉主要含c型支链淀粉，消化速度较慢，可能降低肠道通过率，添加比例较高时可导致饲料摄入量减少（Sharma等人，2021年）。不过，有研究显示，添加慢消化淀粉省去了一部分为后肠提供能量的氨基酸，提高了营养利用效率（Herwig等人，2019b；Aftab等人，2018年）。Sharma等人（2021年）研究发现，在给肉鸡饲喂小麦颗粒饲料和豌豆颗粒饲料的情况下，肉鸡的总淀粉消化率基本没有差异，说明尽管淀粉利用速度较慢，但淀粉消化率仍然保持较高的水平。

研磨加工能增加淀粉颗粒与淀粉酶的接触，提高家禽的淀粉消化率（Longstaff和McNab，1987年）。淀粉颗粒越小，消化率越高（Carre等人，1998年）。颗粒饲料不一定需要细磨（Conan等人，1992年）。制粒能提高淀粉消化率，减少不同豌豆品种之间的差异（Carre等人，1987年；Carre等人，1991年）。淀粉消化率则影响表观代谢能（AME）。举例来说，制粒能提高豌豆蛋白质和淀粉的消化率，增加氮校正表观代谢能（AMEn）值。Grosjean等人（1999年）的研究显示，在公鸡饲料中添加豌豆泥和豌豆颗粒时，平均氮校正表观代谢能分别为2851千卡/公斤干物质和3150千卡/公斤干物质。将豌豆玉米饲料和豌豆小麦饲料制成颗粒也会提高氮校正表观代谢能（Carre等人，1987年）。

一般情况下，挤压加工和膨化加工的淀粉糊化度超过制粒加工。膨化和挤压能改善豌豆淀粉体外酶降性能，挤压豌豆的淀粉体外酶解率从12%增加到40%，膨化豌豆的淀粉体外酶解率增至85%。加工还能降低豌豆的氮溶解度和蛋白质降解（Masoero等人，2005年）。挤压加工几乎能使体外 α 淀粉酶消化率翻番（Diaz等人，2006年）。挤压豌豆能提高干物质、粗蛋白、必需氨基酸和非必需氨基酸的回肠表观消化率（Hejdysz等人，2016年）。但是，氨基酸对高温敏感，高温加工可导致氨基酸消化率下降（Al-Marzooqi和Wiseman，2009年）。

总体而言，建议在适当温度下对含豌豆的家禽饲料进行制粒等研磨加工和挤压等热加工。

肉鸡

豌豆可作为家禽的能量和蛋白来源。豌豆的粗蛋白和氨基酸能量存留率和回肠表观消化率高于蚕豆、羽扇豆等豆类，与豆粕相当（Masey O'Neill等人，2012年；Koivunen等人，2016年；Witten等人，2018年）。在肉鸡饲料中添加高达40%的豌豆粉、膨化豌豆、豌豆颗粒或微粉化脱壳豌豆粉有助于肉鸡达到最佳生长性能（Nalle等人，2011年；Diaz等人，2006年；Laudadio和Tufarelli，2010年；Hejdysz等人，2017年）。

在肉鸡饲料中添加40%微粉化脱壳豌豆粉代替豆粕和小麦麸能促进肉鸡生长（表4.2），改善肉质（Laudadio和Tufarelli，2010年）。研究表明，在肉鸡饲料中（低温制粒，70摄氏度）添加20%粒径3毫米以下的豌豆粉，代替一部分豆粕也能促进肉鸡生长（Nalle等人，2010年）。

挤压加工能降低豌豆中的植酸磷、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和抗性淀粉含量，从而增加肉鸡饲料中的豌豆添加量（Hejdysz等人，2017年）。加入50%以下挤压豌豆的饲料与加入等量未加工豌豆的饲料相比明显有利于肉鸡生长。挤压豌豆饲料组的采食量（2385克）和增重（1.41克/克）低于未加工豌豆饲料组的采食量（2504克）和增重（1.46克/克），原因可能在于挤压加工提高了营养物质利用率。挤压豌豆饲料组的增重优于或相当于玉米和豆粕对照饲料组，挤压豌豆的添加比例在第0~14天不超过50%，在第15~35天不超过30%，在第0~35天不超过40%（表4.3）。

表4.2 饲料豌豆对肉鸡生产性能和营养物质消化率的影响（Laudadio和Tufarelli，2010年）

项目	试验饲料	
	豆粕	豌豆
第14~49天		
成分 (%)		
硬质小麦次粉	74.15	53.85
豆粕 (48%粗蛋白)	19.5	0
豌豆	0	40
L-赖氨酸	0.44	0.25
DL-蛋氨酸	0.16	0.25

表4.2 饲料豌豆对肉鸡生产性能和营养物质消化率的影响 (Laudadio和Tufarelli, 2010年 (续))

项目	试验饲料	
	豆粕	豌豆
第14~49天		
成分 (%)		
ME (千卡/公斤)	2889	2889
粗蛋白	20.56	20.49
赖氨酸 (%)	1.15	1.15
蛋氨酸+半胱氨酸 (%)	0.79	0.78
变量		
体重 (克)	2549	2529
ADG (克)	50.4	49.9
ADFI (克)	105	106.1
FCR (克:克)	2.03	2.05
死亡率 (%)	1.2	1.1

ME: 代谢能; ADG: 平均日增重;

ADFI: 平均采食量;

FCR: 饲料转化率

表4.3 饲料豌豆添加比例对肉鸡生产性能和营养物质消化率的影响（Hejdysz等人，2017年）

项目	饲料中挤压豌豆的添加比例（%）					
	0	10	20	30	40	50
增重（克）						
第0~14天	272	302	304	305	308	300
第15~35天	1464	1440	1501	1403	1323	1319
第0~35天	1735	1761	1806	1709	1707	1578
采食量（克）						
第0~14天	374	397	407	425	419	372
第15~35天	1979	1978	2166	1993	1920	1853
第0~35天	2353	2371	2580	2412	2330	2225
饲料转化率						
第0~14天	1.38	1.31	1.36	1.36	1.38	1.44
第15~35天	1.35	1.38	1.40	1.42	1.43	1.41
第0~35天	1.36	1.38	1.40	1.42	1.42	1.41

蛋鸡

豌豆是一种有效的蛋鸡饲料原料。在蛋鸡饲料中添加的豌豆比例从0%增加到50%的过程中，蛋鸡的只日产蛋率、蛋总重和蛋品质指标保持不变（表4.4）。添加30%豌豆时，只日产蛋率和蛋总重最大（Fru-Nji等人，2007年）。添加30%豌豆的饲料与豆粕饲料相比能提高产蛋量和蛋品质，且蛋鸡的生产性能不受影响（Ciurescu和Pana，2017年）。

表4.4 饲料豌豆添加比例对24~76周龄蛋鸡生产性能的影响 (Fru-Nji 等人, 2007年)

项目	饲料中的饲料豌豆添加比例 (%)					
	0	10	20	30	40	50
成分 (%)						
饲料豌豆	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00
豆粕	19.43	16.79	14.23	11.60	9.07	6.53
DL-蛋氨酸	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21
营养成分 (%)						
GE (千卡/公斤)	4323	4251	4299	4275	4132	4203
粗蛋白	20.1	20.0	19.8	20.3	19.8	19.3
生产性能						
只日产蛋率	90.3	90.8	90.8	91.1	90.0	89.9
蛋总重 (克蛋/ (只*日))	60.0	59.7	59.8	61.0	59.8	59.3
增重 (克/只)	51.6	47.3	46.4	46.1	45.7	43.1
采食量 (克/ (只*日))	120	120	121	122	122	124
蛋品质性状						
蛋壳强度 (公斤)	4.4	4.4	4.3	4.3	4.3	4.4
蛋黄颜色	14.6	14.5	14.5	14.5	14.6	14.5
总能						

火鸡

饲喂豌豆饲料时，火鸡5周和10周的氮校正表观代谢能分别为2795千卡/公斤干物质和3057千卡/公斤干物质。饲喂豌豆与饲喂羽扇豆和蚕豆相比，火鸡的粗蛋白回肠表观消化率、氨基酸回肠表观消化率和能量存留率较高（Palander等人，2006年）。Zduńczyk等人（2020年）的研究显示，在小麦-豆粕火鸡饲料中添加30%豌豆不影响火鸡的出栏重和胃肠道生理功能。

鸭子

北京白鸭能有效利用豌豆。饲喂豌豆饲料与饲喂豆粕饲料相比，鸭子的干物质表观存留率、能量表观存留率和能量真存留率较高（Nyachoti等人，2004年），说明可以在鸭饲料中添加豌豆。R. W. Newkirk代表加拿大豆类协会在中国开展了商品鸭研究，结果显示，豌豆是一种有效的饲料原料，可用于商业生产。目前鲜有鸭饲料中豌豆应用的相关研究资料。

饲料豌豆组分在家禽饲料中的应用

目前涉及风选豌豆组分对家禽影响的研究很少。Herwig等人（2019a）的研究显示，在半纯化饲料中添加较高比例的风选豌豆淀粉会降低采食量和增重。雄性家禽的采食量随着豌豆淀粉的增加而减少，雌性家禽的采食量不受豌豆淀粉影响。Herwig等人假设采食量减少是因为淀粉的消化速度较慢，降低了肠道通过率。饲料转化率呈二次方响应，添加25%豌豆淀粉时，饲料转化率最高（Herwig等人，2019b）。在代替小麦淀粉的半纯化豌豆淀粉的添加比例从0%增加到100%的过程中，10~20周龄的蛋鸡只日产蛋率在添加67%的半纯化豌豆淀粉时达到最大值。在0~20周龄期间，产蛋量随着豌豆淀粉添加量的增加而呈线性增加。添加32%豌豆淀粉时，蛋壳厚度达到最大值。增重也受豌豆淀粉含量的影响，在添加32%豌豆淀粉时达到最大值，采食量随着豌豆淀粉添加量的增加而呈线性增加（Herwig等人，2019a）。

分别按5%、10%和15%的比例在玉米豆粕饲料中添加饲料豌豆蛋白组分，饲喂21天后，肉鸡的整体平均日采食量和日平均增重呈线性下降，饲料转化率呈线性增长（Velayudhan等人，2019年）。值得注意的是，上述结果源于以消化率分析为目标的研究，且未使用颗粒饲料。豌豆淀粉和豌豆蛋白的粒度极细，添加到非颗粒饲料中可能会降低采食量和肉鸡的生产性能。

5

饲料豌豆和饲料豌豆组分在猪饲料中的应用

饲料豌豆在世界各地的主要用途都是猪饲料原料。豌豆是一种优质的饲料原料，适口性好，能按较高的比例加入猪饲料，特别是生长育肥猪饲料。豌豆也是优质的氨基酸和能量来源，能代替猪饲料中的谷物原料和蛋白原料。

猪饲喂豌豆的注意事项

在配制豌豆饲料时，很有必要使用净能体系。

净能体系能较为准确地估计可用能量，特别是高纤维、高蛋白原料的可用能量。豌豆的可消化能、可代谢能和净能分别是溶剂法提取豆粕的95%、99%和113%（美国国家研究委员会，2012年）。以往有些研究以可消化能为基础配制饲料，结果表明，增加豌豆的添加比例对猪的生产性能有负面影响（Casttel等人，1996年；Stein等人，2010年）。以净能和标准回肠可消化氨基酸为基础配制饲料，同时保持标准回肠可消化赖氨酸与能量的比率能最大程度地提高豌豆添加比例，同时不影响猪的生产性能。

对油菜籽和豆类进行共挤压加工不仅能解决油菜籽的研磨、储存和装卸问题，还能实现营养价值和氨基酸平衡。相关研究评估了油菜籽豌豆混合饲料、油菜籽豌豆海军豆混合饲料以及亚麻籽豌豆混合饲料对生长育肥猪的影响（Kiarie和Nyachoti，2007年；Thacker等人，2004年；Htoo等人，2008年）。对全脂油菜籽和豌豆进行加热共挤压不影响粗蛋白和氨基酸消化率，在饲喂10天后提高氨基酸消化率（Kiarie和Nyachoti，2007年）。亚麻籽和豌豆共挤压也能提高脂肪、脂肪酸、能量和氨基酸消化率（Htoo等人，2008年）。

实践证明，在生长育肥猪饲料中添加饲料豌豆效果良好。豌豆的抗营养因子和低于玉米和豆粕的能量消化率，在一定程度上限制了豌豆在幼猪饲料中的使用。但是相关研究显示，就像家禽饲料一样，加工（研磨和热处理）能克服缺点，实现豌豆在幼猪饲料中的应用。但是，相关研究结果并不一致，需要进行更多研究。根据本指南所述的研究结果，在表5.1中列示各个生长阶段的猪饲料中的建议豌豆添加比例。

表5.1 猪饲料中的饲料豌豆建议添加比例

猪品种	饲料中的建议添加比例（%）
断奶仔猪	20
生长育肥猪	40
母猪	20

加工

在加入猪饲料前，豌豆一般经过2.5毫米或3毫米孔径的磨筛机粉碎，建议用更细的磨筛机筛粉碎豌豆以用于仔猪饲料。在饲料中添加30%通过5.4毫米、3.28毫米或0.74毫米孔径筛网（分别代表1035微米、649微米和156微米的平均粒度）粉碎的豌豆粉以后，淀粉的水解率提高，饲料的可消化能含量随着平均粒度的减小而增加（Montoya和Leterme，2011年）。从成本效益来看，中等粒度的磨筛加工最经济。建议在仔猪饲料中使用粒度小于500微米的豌豆粉，在生长育肥猪饲料中添加粒度600微米的豌豆粉。

热处理能降低胰蛋白酶抑制因子的活性，起到提高能量值、蛋白质和淀粉消化率的作用，只是这种作用缺乏一致性。例如，在某个实验中，用低温制粒（70~75℃）、蒸汽制粒（80~85℃）或单螺杆挤压（115℃）工艺加工豌豆，加工后的豌豆加入断奶猪的饲料。低温制粒和挤压加工使豌豆的胰蛋白酶抑制因子活性在1.6毫克/克初始活性的基础上降低0.8-1.1毫克/克。低温制粒增加了能量值，挤压加工增加了断奶猪的苏氨酸、色氨酸、缬氨酸、丝氨酸和酪氨酸的回肠消化率（Hugman等人，2021年）。用40%的豌豆代替30%的豆粕和10%的玉米时，低温制粒和挤压加工并没有改善断奶猪的生长性能（Hugman等人，2020年）。相反，挤压豌豆（110~135℃）组与未加工豌豆组相比，仔猪的平均日增重和蛋白质表观消化率较高（Tuśnio等人，2017年）。

研究显示，在饲料中添加外源酶能提高蛋白质和碳水化合物的消化率，但实验结果缺乏一致性，原因可能在于豌豆降低了食糜粘度，使食糜粘度小于小麦或大麦。在豌豆小麦饲料中添加木聚糖酶和蛋白酶并不能提高断奶仔猪的营养物质消化率（Hargreaves和Sauer，2011年）。给体重23公斤的猪饲喂以豌豆蛋白组分为唯一蛋白原料的饲料时，加入多糖酶不影响猪的氨基酸消化率（Dadalt等人，2016年）。相反，在含20%黄豌豆的仔猪（体重6.5~13公斤）饲料中添加单糖酶能提高饲料的整体价值和平均日增重（Brooks等人，2009年）。

导致加工对豌豆消化率影响的结果相互矛盾的原因很多。预处理材料、加工参数、动物体况和环境影响差异都可能造成动物生产性能差异。需要进一步研究饲料加工对猪饲料，特别是仔猪饲料中豌豆添加比例的影响。

断奶仔猪饲料

虽然豌豆的含硫氨基酸含量低，含有抗营养因子，限制了豌豆的添加比例，但豌豆仍有可能成为断奶仔猪饲料的优质能量和蛋白质来源。

在近期研究中，研究人员在平衡饲料净能和回肠标准消化率的情况下，在饲料中加入40%豌豆，完全取代保育料中的豆粕，结果对保育猪的生长性能没有负面影响。粗蛋白消化率随着豌豆添加比例的增加而下降（Landerio等人，2014年）。同样，在配方提供同等净能和标准回肠可消化赖氨酸的情况下，用40%饲料豌豆（加工或未加工）代替断奶仔猪饲料中的30%豆粕和10%小麦不影响平均日增重（表5.2）。在Hugman等人（2020年）的研究中，豌豆饲料的预测净能量和可消化能量小于豆粕饲料的净能量和可消化能量，猪需要吃较多的饲料弥补豌豆饲料中较低的净能量，当豌豆能量下降时，猪的平均日采食量增加，谷物与饲料比降低，说明饲料的豌豆能量存在高估的情况。

表5.2 在饲料中添加未加工和加工豌豆对断奶2周仔猪生长性能的影响（Hugman等人，2020年）

项目	豌豆				
	SBM	未加工	Cold-P	Steam-P	挤压
成分（%）					
小麦	56.77	47.5	47.5	47.5	47.5
豆粕	30	0.00	0.00	0.00	0.00
未加工豌豆	0.00	40	0.00	0.00	0.00
低温制粒豌豆	0.00	0.00	40	0.00	0.00
蒸汽制粒豌豆	0.00	0.00	0.00	40	0.00
挤压豌豆	0.00	0.00	0.00	0.00	40

表5.2 在饲料中添加未加工和加工豌豆对断奶2周仔猪生长性能的影响（Hugman等人，2020年）（续）

项目	豌豆				
	SBM	未加工	Cold-P	Steam-P	挤压
营养成分（%）					
配方净能（千卡/公斤）	2393	2393	2393	2393	2393
实测净能（千卡/公斤）	2342	2173	2165	2175	2161
粗蛋白	26.45	19.4	18.74	19.25	19.27
粗脂肪	34.5	25.5	22.6	25.0	23.0
淀粉	338.9	304.8	272.8	290.3	320.8
中性洗涤纤维	95.3	94.9	96.8	94.6	105.9
酸性洗涤纤维	46.1	42.9	52.5	48.5	59.0
平均日采食量（克/天）					
第1~7天	528	562	567	562	598
第7~14天	528	562	567	562	598
第14~21天	1119	1153	1203	1193	1162
第1~21天	813	853	882	857	876
平均日增重（克/天）					
第1~7天	331	339	333	357	401
第7~14天	594	506	538	499	526
第14~21天	738	738	721	764	710
第1~21天	554	528	531	540	545

表5.2 在饲料中添加未加工和加工豌豆对断奶2周仔猪生长性能的影响（Hugman等人，2020年）（续）

项目	豌豆				
	SBM	未加工	Cold-P	Steam-P	挤压
料肉比					
第1~7天	0.62	0.61	0.58	0.63	0.68
第7~14天	0.74	0.60	0.61	0.61	0.59
第14~21天	0.66	0.64	0.61	0.64	0.61
第1~21天	0.68	0.62	0.60	0.63	0.62
出栏体重（公斤）	21.7	21	21.1	21.3	21.4

饲料配方（原样）为每公斤体重提供1.21克标准回肠可消化赖氨酸、
7.3克标准回肠可消化苏氨酸、3.9克标准回肠可消化蛋氨酸、3.1克标准回肠可消化色氨酸、
6.9克标准回肠可消化缬氨酸及5.9克标准回肠可消化异亮氨酸

NE：净能；NDF：中性洗涤纤维；ADF：酸性洗涤纤维；SBM：豆粕；
Cold-P：低温制粒；Steam-P：蒸汽制粒



生长育肥猪饲料

豌豆能加入生长育肥猪饲料中代替蛋白原料和能量原料，说明在平衡其他饲料原料的情况下，没有其他理由能限制豌豆在猪饲料中的添加比例。Stein等人（2006年）的研究显示，豌豆的最高添加比例可以达到66%，且无负面效应。在加拿大，豌豆的实际添加比例视饲料价格介于20%和40%。

相关研究表明，在平衡饲料净能的情况下，用未加工或挤压豌豆代替豆粕不影响生长育肥猪的生产性能、胴体组成和肉质（Chrenková等人，2011年；Prandini等人，2011年；Smith等人，2013年；White等人，2015年；Degola和Jonkus，2018年）。例如，给猪饲喂对照（玉米豆粕）饲料、中等豌豆含量（用36%的豌豆代替部分玉米和豆粕）饲料或最大豌豆含量（用66%的豌豆代替玉米和成品豆粕）饲料时（表5.3），结果显示，豌豆能完全代替生长育肥猪饲料中的豆粕。而且，豌豆对猪的生长性能、胴体组成、肉质和猪肉的口感没有负面影响。作者提出，豌豆在生长育肥猪饲料中的添加量不存在生物方面限制，经济性是衡量豌豆添加量的唯一指标（Stein等人，2006年）。

所谓的苦味是养殖户和消费者担心的问题之一。养殖户觉得苦味会影响猪的采食量和猪肉口感，不愿增加猪饲料中的豌豆添加比例。研究表明，猪饲料中添加的豌豆比例达到60%时，猪的采食量和饲料的适口性不受影响（Rajendram，2012年）。在饲料中添加66%豌豆的情况下，育肥猪的猪排没有异味（Stein等人，2006年），猪肉饼有酸味，但猪肉饼的总异味与对照组没有差异。总的来说，在生长育肥猪中添加豌豆不影响猪肉的口感（Stein等人，2006年）。

有一些研究对豌豆进行挤压加工或热加工，以提高生长育肥猪的消化率和生产性能。Stein和Bohlke（2007年）在115摄氏度左右的温度下对豌豆进行挤压加工，结果表明，挤压加工能提高生长猪的氨基酸回肠表观消化率、能量、淀粉和标准氨基酸回肠消化率。挤压加工还提高了能量的全消化道表观消化率。Zaworska等人（2018年）的研究也显示，豌豆挤压加工能提高某些氨基酸的回肠表观消化率和粗蛋白的全消化道表观消化率。

表5.3 豌豆添加比例（中等和最大）对生长育肥猪生产性能和胴体品质的影响（根据Stein等人（2006）的研究报告改编）

项目	生长猪			早期育肥猪			后期育肥猪		
	对照组	中等比例组	最高比例组	对照组	中等比例组	最高比例组	对照组	中等比例组	最高比例组
成分（%）									
玉米	73.64	49.51	31.20	80.77	56.71	49.57	86.95	61.97	61.87
豌豆	-	36.0	66.0	-	36	48	-	36.0	36.0
豆粕	24.0	12.0	-	17.0	5.0	-	11.0	-	-
营养成分									
ME（千卡/公斤）	3326	3287	3248	3334	3261	3233	3342	3272	3272
粗蛋白（%）	15.90	15.90	16.40	13.70	13.60	14.30	12.90	12.70	12.70
赖氨酸（%）	0.95	1.02	0.95	0.88	0.93	0.89	0.70	0.73	0.73
蛋氨酸+半胱氨酸（%）	0.60	0.58	0.59	0.51	0.48	0.53	0.47	0.44	0.44
生长性能									
ADFI（公斤）	1.86	1.85	1.83	2.87	2.81	2.99	3.33	3.03	3.45
ADG（公斤）	0.80	0.81	0.81	0.93	0.96	1.00	0.86	0.82	0.86
G:F（公斤/公斤）	0.43	0.44	0.45	0.33	0.34	0.33	0.27	0.27	0.25

ME：可代谢能；ADFI：平均日采食量；

ADG：平均日增重；G:F：肉料比

种猪饲料

豌豆的蛋白质含量和热量都较高，非常适合作为泌乳母猪饲料原料。目前的文献中，很少有资料介绍添加豌豆的种猪饲料对种猪生产性能的影响。

饲料豌豆组分在猪饲料中的应用

豌豆风选产生蛋白组分和淀粉组分。风选工艺在浓缩豌豆蛋白的同时也会浓缩对动物，特别是幼龄动物的采食量和营养物质消化率有负面影响的皂甘、胰蛋白酶抑制因子和低聚糖（Vose等人，1976年；Price等人，1985年；Owusu-Ansah和McCurdy，1991年）。饲喂豌豆浓缩蛋白（10.5%）的幼猪与饲喂豆粕的猪相比，在26~36日龄期间生长性能下降。在48日龄时，饲喂豌豆浓缩蛋白的猪的实测总能量回肠消化率低于对照组（Valencia等人，2008年）。另一项研究则显示，饲喂风选豌豆浓缩蛋白（占饲料总量的45%）饲料与饲喂豆粕饲料相比，生长猪的能量、蛋白质、淀粉、干物质的回肠表观消化率和全消化道消化率较高，赖氨酸的标准回肠消化率也较高。饲喂豌豆浓缩淀粉（占饲料总量的73.27%）饲料的生长猪的淀粉消化率也高于饲喂玉米淀粉饲料的生长猪，说明豌豆浓缩蛋白的氨基酸和能量是生长猪饲料的优质营养物质来源（Gunawardena等人，2010年）。

在饲料中添加豌豆淀粉（20%）能增加哺乳期的平均日采食量、平均周采集量和总采食量，改善断奶母猪的体状。豌豆淀粉可以代替泌乳母猪饲料中的其他淀粉原料（Thingnes等人，2013年）。

6 饲料豌豆在反刍动物饲料中的应用

豌豆对各品种的牛来说都是一种优质原料。豌豆含20~28%（干物质）的蛋白质及43~57%（干物质）的淀粉（Heuzé等人，2017年），是豆粕、菜粕、玉米等谷物原料的潜在替代品。虽然现有研究以豌豆在奶牛饲料中的应用为主，但是，豌豆完全有可能用作犊牛和肉牛饲料原料。

牛饲喂豌豆的注意事项

表6.1 反刍动物饲料中豌豆的建议最大添加比例

动物种类	占饲料的最大干物质比例 (%)	特别注意事项
哺乳犊牛	40%教槽料或开食颗粒料	• 不必加工豌豆，促进生长性能
断奶犊牛	20%	
育前肉牛	30%	
育肥肉牛	30%	
泌乳奶牛	30%	• 建议在超过130摄氏度的温度下进行热处理，减少瘤胃的蛋白质和淀粉降解 • 用豆类原料代替豆粕和菜粕等蛋白原料时，可能需要补充赖氨酸和蛋氨酸

未加工豌豆的瘤胃降解性

豌豆的蛋白质和淀粉的瘤胃降解率都比较高。尽管未加工豆类的瘤胃降解特点资料基本以奶牛为主（表6.2），但有研究表明，用未加工豌豆代替肉牛饲料中的玉米对肉牛的瘤胃营养物质降解率基本没有影响（Gilbery等人，2007年）。



表6.2 未加工豌豆的粗蛋白和淀粉的瘤胃降解特点（根据Yu等人的研究报告改编）

粗蛋白的瘤胃降解特点

参考文献	CP (%DM)	S (%)	D (%)	Kd (%/hr)	RUP (%)
Van Straalen和 Tamminga, 1999年	25.0	62.0	37.9	4.8	21.0
Aguilera等人, 1992年	26.8	39.3	60.7	8.6	22.5
Walhain等人, 1992年	NR	49.0	51.0	20.0	12.0

淀粉的瘤胃降解特点

参考文献	St (%DM)	S (%)	D (%)	Kd (%/hr)	RUSt (%)
Goelema, 1999年	49.1	52.2	47.8	4.6	32.4
Nocek和 Tamminga, 1999年	42.6	24.0	76.0	14.1	22.3
Nocek和 Tamminga, 1999年	41.8	50.0	50.0	7.1	25.7

S = 可溶性组分（粗蛋白或淀粉比例）

D = 潜在降解组分（粗蛋白或淀粉比例）

Kd = 降解率（每小时粗蛋白或淀粉比例）

RUP或RUSt = 瘤胃非降解粗蛋白或淀粉比例

NR: 无相关报道

豌豆加工

可以采用饲料加工方法改变豌豆的营养价值和瘤胃降解特点。挤压加工豆类能提高奶牛小肠的氨基酸吸收率（Benchaar等人，1994年）。表6.3显示豌豆热处理会降低奶牛的瘤胃降解率（每小时粗蛋白比例），增加瘤胃非降解蛋白比例。

表6.3 热处理对豌豆的瘤胃可降解粗蛋白特点的影响（根据Yu等人（2002年）的研究报告改编）

参考文献	加工条件	S (%)	D (%)	Kd (比例/小时)	瘤胃非降解粗蛋白比例 (%)
Walhain等人, 1992年	未加工	49.0	NR	20.0	12.0
	挤压加工（140摄氏度）	13.0	NR	18.0	46.0
	挤压加工（180摄氏度）	13.0	NR	15.0	45.0
Aguilera等人, 1992年	未加工	39.3	60.7	8.6	22.5
	高压蒸汽加工（120摄氏度下30分钟）	18.0	82.0	2.6	39.1
Goelema, 1999年	未加工	62.1	37.9	4.8	21.0
	烘烤加工（118摄氏度下30分钟）	33.0	67.0	3.4	43.1
	烘烤加工（136摄氏度下15分钟）	24.6	75.4	2.4	53.7

S = 可溶性组分（粗蛋白或淀粉比例）

D = 潜在降解组分（粗蛋白比例）

Kd = 降解率——每小时粗蛋白比例

RUP = 瘤胃非降解粗蛋白比例

NR: 无相关报道

蒸汽压片、膨化处理或豆类颗粒化等加工方法不太可能改善瘤胃的降解特点或生产性能（Yu等人，2002年），但可能对饲料的储存和运输具有实用意义。可以在配合饲料中添加20~50%的豌豆改善颗粒质量（Anderson，2004年）。De Boer等人（1991年）的研究表明，在颗粒饲料中添加豌豆能提高颗粒的耐久性，减少机械装卸后的粉末量。

豌豆在奶牛饲料中的应用

豌豆可以代替泌乳奶牛饲料干物质中30%以下的常见蛋白原料和淀粉原料。用豌豆代替豆粕、菜粕、大麦或玉米对奶牛各生产阶段的泌乳性能没有影响（表6.4）。

豌豆对奶牛来说都是一种适口性良好的原料。按10%的饲料干物质比例用豌豆代替泌乳中期奶牛饲料中的豆粕，泌乳中期奶牛的干物质采食量和挑食行为没有差异（Masoero等人，2006年）。Petit等人（1997年）、Khorasani等人（2001年）、Masoero等人（2006年）的研究证实了上述结果，这些研究采用不同形态的豌豆加入全价饲料。

用豌豆代替豆粕、玉米等谷物不影响产奶量（表6.4）。Petit等人（1997年）按20%饲料干物质比例用未加工豌豆和干式挤压豌豆代替早期泌乳牛饲料中的豆粕，结果不影响产奶量和牛奶各成分产生量。Masoero等人（2006年）和Pol等人（2008年）在研究中用挤压豌豆和豌豆粉代替泌乳中期奶牛饲料中的豆粕、大麦和玉米，奶牛4%的乳脂校正乳产量保持不变。Khorasani等人（2001年）的研究虽然没有发现产奶量或牛奶成分产生量存在统计差异，但是，随着饲料中代替豆粕和大麦粒的粗磨豌豆的比例（不超过饲料干物质的30%）增加，泌乳奶牛4%的乳脂校正乳产量趋于增加。





表6.4 饲料豌豆对泌乳奶牛生产性能的影响

泌乳阶段	形态	加工条件	实验信息	添加比例 (干物质 比例)	产奶量 (公 斤/天)	乳脂产 生量 (公 斤/天)	乳蛋白 产生量 (公 斤/天)	参考文献
早期								
	未加工; 整粒		对照组 豆粕和菜 粕1	0	34.8	1.05	1.04	Corbett 等人., 1995年
				20	34.5	1.17 a	1.06	
	未加工; 整粒		对照组 豆粕	0	33.8	1.24	0.98	Petit 等人., 1997年
				20	34.3	1.23	1.01	
	干式挤压	单螺杆; 螺杆转 速550 转/分; 模具直径 9.5毫米; 出口温度 140摄氏度	豆粕	20	33.6	1.19	1.02	
中期								
	未加工; 整粒		对照组 豆粕和大 麦	0	34.4	1.25	1.16	Masoero 等人., 2006年
				10	34.2	1.23	1.14	
	未加工; 整粒		豆粕	0	35.6	1	1.04	Corbett 等人, 1995年
				20	32.1	1.05	0.97	

表6.4 饲料豌豆对泌乳奶牛生产性能的影响（续）

泌乳阶段	形态	加工条件	实验信息	添加比例 (干物质 比例)	产奶量 (公 斤/天)	乳脂产 生量 (公 斤/天)	乳蛋白 产生量 (公 斤/天)	参考文献
中期（续）								
	粗磨	锤式粉碎机; 1.44毫米 粒度	对照组 豆粕和玉 米	0	35.4	1.25	1.05	Pol等人, 2008年
				15	35.6	1.27	1.02	
	挤压	单螺杆; 湿式挤压 机; 无温 度资料	对照组 豆粕和大 麦	0	34.4	1.25	1.16	Masoero 等人., 2006年
				10	35.5 a	1.24	1.19 a	
	膨化	内部温 度; 130摄 氏度		10	34.4	1.22	1.13	
Late								
	未加工; 整粒		对照组 豆粕和菜 粕	0	25.8	0.87	0.80	Corbett 等人., 1995年
				20	24.9	0.90	0.78	
	粗磨	NR	对照组 豆粕和大 麦	0	20.7	0.80	0.72	Khorasani 等人., 2 年
				10	22.0	0.87	0.78	
				20	21.4	0.86	0.77	
				30	21.7	0.80	0.75	

a 与对照组存在统计差异

NR: 无相关报道

豌豆在育前肉牛饲料中的应用

豌豆是一种比较合适的育前肉牛饲料原料，占饲料干物质的比例最高可达40%（表6.5）。Soto-Navarro等人（2012年）开展了一项研究，他们在玉米青贮饲料中按40%的饲料干物质比例添加整粒豌豆、压片豌豆和豌豆粉，结果肉牛的干物质采食量和肉料比没有差异。研究没有对豌豆和其他饲料谷物原料进行比较。需要开展更多研究完善饲喂建议，实现豌豆在育前肉牛饲料中的高效利用。

表6.5 按40%干物质比例饲喂豌豆时豌豆加工对育肥肉牛生产性能的影响（根据Soto-Navarro等人，2012年的研究报告改编）^a

	整粒豌豆	轧制豌豆	研磨豌豆
ADG（公斤/天）	1.69	1.52	1.63
DMI（公斤/天）	10.0	9.7	9.8
Gain:Feed（克/公斤）	169	158	167

^a无统计差异

豌豆在育肥肉牛饲料中的应用

可以在育肥肉牛饲料中按30%以下的饲料干物质比例添加豌豆代替常用淀粉粒。一些研究表明，用豌豆代替玉米或大麦对肉牛的生产性能没有影响（表6.6）。研究证明，饲喂豌豆能保持且有可能改善胴体质量（表6.7）。

豌豆作为饲料原料不仅适口性好，还能保持干物质采食量（表6.6）。用不超过30%饲料干物质比例的豌豆代替育肥肉牛饲料中的干轧玉米，育肥肉牛的干物质采食量不受影响（Jenkins等人，2011年）。Lardy等人（2009年）在研究中用不超过36%饲料干物质比例的豌豆代替大麦粒和大麦芽，得到了类似的结果。Lardy等人（2009年）的研究则显示，用30%以下饲料干物质比例的豌豆代替育肥肉牛饲料中的玉米和菜粕会降低干物质采食量。Fendrick等人（2005年）的研究表明，在饲料中添加20%饲料干物质比例的豌豆会增加干物质采食量。需要注意的是，在相关研究中，只有当各实验组之间的增重有差异时，干物质采食量才有变化。在用豌豆代替相关饲料原料的情况下，只要维持饲料配方的增重净能量，就能保持干物质采食量不变。

用59%以下饲料干物质比例的豌豆代替蛋白质原料和淀粉原料能保持育肥肉牛的生长性能、胴体质量和牛肉口感。在表6.6列示的研究中，在饲料中添加10~59%饲料干物质比例的豌豆时，肉牛的平均日增重及肉料比不受影响。Jenkins等人（2011年）的研究显示，用豌豆代替干轧玉米时，牛的热胴体重量、大理石纹评分和产量等级基本不变，说明屠宰率和胴体质量不受影响。用30%以下饲料干物质比例的豌豆代替豆粕和玉米还能提高育肥肉牛小母牛的大理石纹评分，只是原因尚不明确（Lardy等人，2009年）。用豌豆代替育肥肉牛饲料中的玉米还能提高牛肉的嫩度、风味、消费者接受度等感官评分（Jenkins等人，2011年）。

表6.6 饲料豌豆对育肥肉牛生产性能的影响

形态	取代原料	添加比例 (干物质 比例)	饲喂天 数	DMI (公 斤/天)	ADG (公 斤/天)	G:F 克/ 公斤	NEg (千 卡/公 斤)	参考文献
		0	143	9.5	1.64	172	1.43	Fendrick 等人, 2005年
未加工; 整粒	干轧玉米	20	143	10.4 ^a	1.58	152	1.26 ^a	
未加工; 整粒	干轧玉米	40	143	10.5 ^a	1.54	147	1.21 ^a	
未加工; 整粒	干轧玉米	59	143	10.2 ^a	1.56	153	1.28 ^a	



表6.6 饲料豌豆对育肥肉牛生产性能的影响（续）

形态	取代原料	添加比例 (干物质 比例)	饲喂天 数	DMI (公 斤/天)	ADG (公 斤/天)	G:F 克/ 公斤	NEg (千 卡/公 斤)	参考文献
		0	119	12.3	1.90	154	1.26	Jenkins 等人, 2011年
未加工; 整粒	干轧玉米	10	119	12.5	2.07	165	1.32	
未加工; 整粒	干轧玉米	20	119	12.2	1.96	161	1.30	
未加工; 整粒	干轧玉米	30	119	12.2	2.06	168	1.37	
		0	70-97	12.8	1.30	101	0.91	Lardy 等 人, 2009 年
破碎	碎大麦和 大麦芽	18	70-98	12.8	1.44	113	0.96	
破碎	碎大麦和 大麦芽	27	70-98	12.8	1.47	115	0.95	
破碎	碎大麦和 大麦芽	36	70-98	13.3	1.45	109	0.95	



表6.6 饲料豌豆对育肥肉牛生产性能的影响（续）

形态	取代原料	添加比例 (干物质 比例)	饲喂天 数	DMI (公 斤/天)	ADG (公 斤/天)	G:F 克/ 公斤	NEg (千 卡/公 斤)	参考文献
		0	74	12.2	1.56	128	1.09	Lardy等 人, 2009 年
轧制	玉米和 菜粕	10	74	11.4 a	1.54	108	1.16 a	
轧制	玉米和 菜粕	20	74	11.6 a	1.69	106	1.23 a	
轧制	玉米和 菜粕	30	74	11.4 a	1.61	143	1.20 a	
		0	70-97	10.7	1.96	184	1.54	Lardy 等人, 2009年
轧制	玉米和 豆粕	10	70-98	10.5	1.98	189	1.52	
轧制	玉米和 豆粕	20	70-98	11.2	2.02	180	1.49	
轧制	玉米和 豆粕	30	70-98	10.7	1.97	184	1.53	

^a 与对照组存在统计差异

表6.7 添加豌豆并增加豌豆添加比例对育肥肉牛胴体质量的影响（根据Jenkins等人2011年的研究报告改编^a）

	豌豆添加比例（饲料干物质比例）			
	0	10	20	30
热胴体重量（公斤）	400.1	410.1	403.0	413.7
大理石纹评分 ^b	487.2	467.2	464.2	479.3
膘厚（厘米）	1.32	1.5	1.52	1.57
背最长肌面积（平方厘米）	83.7	81.4	83.2	83.7
产量等级	3.41	3.86	3.67	3.84

^a 无统计差异^b 大理石纹评分：300 = 微量；400 = 少量；500 = 适量

豌豆在犊牛饲料中的应用

饲料豌豆营养丰富、适口性好，非常适合用作2月龄以上犊牛的饲料原料。未加工的豌豆也能提供足够的营养物质，促进瘤胃的健康发育。总之，豌豆是一种经济的替代原料，能代替饲料中的大麦、小麦、玉米、菜粕等蛋白原料和淀粉原料。

关于豌豆在反刍前阶段犊牛饲料中应用的资料很少。Mbugi（1989年）的研究表明，可以用30%以下的豌豆浓缩蛋白代替45日龄以下荷斯坦犊牛代乳料中的蛋白质。Lalles（1993年）研究了豌豆蛋白在代乳料中的使用，结果显示，饲喂豌豆蛋白与饲喂脱脂奶粉相比，犊牛的营养物质回肠消化率下降，犊牛生长性能也有所下降。因此，建议不要以豆类作为2月龄以下的犊牛饲料的主要蛋白原料。

配制教槽料时，必须考虑饲料原料对瘤胃发育的影响。豌豆淀粉能在羔羊瘤胃发育过程中，增加瘤

胃的乳头高度、宽度和表面积（Zhao等人，2018年），这是因为豌豆增加了幼年反刍动物瘤胃液中的丁酸盐浓度（Gelvin等人，2004年；Zhao等人，2018年）。丁酸盐是一种挥发性脂肪酸，能起到调节瘤胃上皮发育的重要作用（Penner等人，2011年）。

不需要对豌豆进行加工，促进哺乳期犊牛的生长性能。饲喂整粒豌豆、干轧豌豆和豌豆粉时，哺乳期犊牛的平均日增重、干物质采食量和料肉比没有差异（Anderson，2004年）。同样，饲喂颗粒或非颗粒豌豆教槽料时，哺乳期犊牛的生长性能也没有差异（Ilse等人，2006年）。

豌豆宜按不超过33%的饲料干物质比例加入哺乳期犊牛的配合饲料，为配合饲料提供谷物和蛋白质。豌豆教槽料能促进断奶犊牛的生长性能，使犊牛的牛奶、草料和教槽料整体采食量增加42%（Gelvin等人，2004年）。按33~67%的饲料干物质比例添加豌豆代替小麦麸能使犊牛的平均日增重从1.28公斤增至1.44公斤，当教槽料中的豌豆添加比例超过33%干物质比例时，增重效应减弱（Anderson，1999年）。

在断奶犊牛的配合精料中按不超过50%的干物质比例添加豌豆能增加犊牛的采食量，保持犊牛的生长性能。按16%的饲料干物质比例添加豌豆代替菜粕对犊牛的平均日增重、干物质采食量和肉料比没有影响（Gilbery等人，2007年）。同样，在配合精料中按50%的干物质比例添加豌豆，代替菜粕、大麦和豆粕不影响断奶荷斯坦犊牛的整体生长性能（De Boer等人，1991年）。



7 饲料豌豆和豌豆浓缩蛋白在水产饲料中的应用

豌豆蛋白质含量高，热量高，抗营养因子含量低，适合作为水产饲料的植物性饲料原料。豌豆的加工要求低，只需要进行风选就能把含24.3%粗蛋白的豌豆变成含35~50%粗蛋白的豌豆浓缩蛋白（Øverland等人，2009年）。尽管不同豌豆品种的营养成分略有差异，但豌豆粉和豌豆浓缩蛋白都是适用于水产养殖的优质饲料原料。在最佳添加比例下，豌豆和豌豆浓缩蛋白能促进很多鱼类和甲壳类的生长，且不影响生存率。

注意事项

如何以经济和环境可持续的方式替代水产饲料中的鱼粉是水产饲料行业的研究重点。豌豆、豌豆浓缩蛋白等豌豆制品的理想添加比例因产品和物种而异。表7.1总结了饲喂豌豆制品的相关生产数据，可以作为取得预期结果的一般准则。

2012年，Collins等人用豌豆蛋白产品饲喂肉食性物种（鲑鱼），结果表明，豌豆浓缩蛋白在虹鳟鱼饲料中的最大添加比例为30%。Collins等人（2013年）、Penn等人（2011年）、Øverland等人（2009年）、Carter和Hauler（2000年）的研究显示，豌豆浓缩蛋白在大西洋鲑鱼饲料中的最佳添加比例不超过20~27.6%。关于小龙虾、虾、鲤鱼、罗非鱼、幼年鲈鱼等杂食性物种饲料中豌豆制品的添加比例资料更少，也更有可为。研究显示，在饲料中添加10~30%豌豆制品能促进杂食性鱼类的生长性能（Ganzon-Naret, 2018年；Song等人，2018年；Gouveia和Davies, 2000年）。另有研究表明，可以用豌豆粉代替虾饲料中的豆粕、小麦和鱼粉，其中一项研究的豌豆粉添加比例高达42%（Roy等人，2009年；Bautista-Teruel等人，2003年；Davis等人，2002年；Cruz-Suarez等人，2001年）。需要进一步开展研究，确定适合上述物种和其他物种的最佳豌豆制品添加比例，帮助饲料企业生产可持续的水产养殖饲料。

在根据目的选择适当的加工工艺，重点围绕鱼类的营养需求和抗营养因子耐受性进行饲料配比的情况下，在水产饲料中添加豌豆、豌豆浓缩蛋白等豌豆制品能促进饲喂鱼类和甲壳类的生长和发育。

表7.1 饲喂豌豆蛋白产品的鲑科鱼类的特定生长率、饲料转化率等生产数据

鱼种	豌豆制品	饲料添加比例	SGR	FCR	说明	参考文献
鲑鱼						
虹鳟鱼	豌豆粉 (Mozart品种)	0%	1.62	1.1	生长性能和饲料转化率无显著性差异	Collins等人, 2014年
		7.5%	1.41	0.9		
		15%	1.32	1.0		
		22.5%	1.39	1.0		
虹鳟鱼	豌豆粉	30% (最大添加比例)	1.53	0.9		Collins等人, 2012年
虹鳟鱼	豌豆浓缩蛋白	0%	1.25	1.1	生长性能和饲料转化率无显著性差异	Collins等人, 2014年
		7.5%	1.35	0.9		
		15%	1.34	1.1		
		22.5%	1.34	1.1		
虹鳟鱼	豌豆浓缩蛋白	30% (最大添加比例)	1.33	1.01	添加比例不超过30%时, 对特定生长率没有显著影响	Collins等人, 2012年
大西洋鲑鱼	对照组	0%	1.18	0.80	添加比例为20%时不影响生长性能和胴体质量	Øverland等人, 2009年

表7.1 饲喂豌豆蛋白产品的鲑科鱼类的特定生长率、饲料转化率等生产数据s（续）

鱼种	豌豆制品	饲料添加比例	SGR	FCR	说明	参考文献
大西洋鲑鱼	PPC (35%CP)	20%（最大添加比例）	1.21	0.86	用豌豆制品代替20%以下的鱼粉蛋白不影响生长性能和胴体质量	Øverland等人, 2009年
	PPC (50%CP)	20%（最大添加比例）	1.23	0.77		
大西洋鲑鱼	PPC	0%	0.63	0.86	添加比例达到35%时诱发肠道病	Penn等人, 2011年
大西洋鲑鱼	PPC	13%（最大添加比例）	0.61	0.86	重点研究可诱发肠道病的添加比例	Penn等人, (2011)年
		35%	0.56	0.90		

表7.2 饲喂豌豆蛋白产品的多种鱼种的特定生长率、饲料转化率等生产数据

鱼种	豌豆制品	饲料添加比例	SGR	FCR	说明	参考文献
罗非鱼						
尼罗罗非鱼鱼苗	豌豆粉	15%	1.75	57.30	存活率100%，蛋白质功效比值1.22±0.69	Djeziri等人，2017年
鲤科鱼类						
鲤鱼（Cyprinus carpio L.）鱼苗	干式蒸煮豌豆粉	40.2%	2.71	1.64	主要比较植物蛋白的热处理对生长性能和饲料利用率的影响	Davies和Gouveia，2010年
	高压处理豌豆粉	45.7%	2.77	1.63		
	本地豌豆粉	44.8%	2.51	1.82		
鲈鱼类						
欧洲鲈鱼幼鱼	豌豆粉	0%	2.09	1.54	鱼的生长性能无显著性差异	Gouveia和Davies，2000年
		10%	2.13	1.47		
		20%	2.12	1.53		
欧洲鲈鱼幼鱼	豌豆粉	30%（最大添加比例）	2.19	1.33	饲喂豌豆粉添加比例较高的饲料时，鱼的整体性能无显著差异	Gouveia和Davies，2000年

表7.2 饲喂豌豆蛋白产品的多种鱼种的特定生长率、饲料转化率等生产数据（续）

鱼种	豌豆制品	饲料添加比例	SGR	FCR	说明	参考文献
亚洲鲈鱼 幼鱼	去壳青豌豆	4%	1.02	2.46	鱼的生长性能无显著性差异	Ganzon-Naret, 2018年
		6%	1.30	2.01		
		8%	1.16	2.21		
亚洲鲈鱼 幼鱼	去壳青豌豆	10%（最大添加比例）	1.19	2.09	饲喂豌豆粉添加比例较高的饲料时，鱼的整体性能无显著差异	Ganzon-Naret, 2018年
大口黑鲈 幼鱼	豌豆淀粉	0%	1.88	2.13	必须在配合饲料中加入蛋氨酸和半胱氨酸	Song等人, 2018年
大口黑鲈 幼鱼	豌豆淀粉	10%（最大添加比例）	2.13	1.22		Song等人, 2018年

表7.3 饲喂豌豆蛋白产品的甲壳类的特定生长率、饲料转化率等生产数据

鱼种	豌豆制品	饲料添加比例	SGR	FCR	说明	参考文献
虾类						
虎纹虾幼虾	豌豆粉	0%			取代豆粕添加比例不超过42%不影响生长性能、采食量、饲料转化率、身体组成和消化率	Bautista-Teruel等人, 2003年
		8.5%	4.49	1.23		
		17%	4.40	1.77		
		25%	4.61	1.36		
		34%	4.54	1.89		
		42% (最大添加比例)	4.38	1.39		
			4.41	1.39		
太平洋白虾	豌豆粉	10%		1.98	用豌豆粉代替10%鱼粉不影响生长性能、增重、存活率及饲料转化率	Roy等人, 2009年
太平洋白虾	豌豆粉	25%		2.47	挤压加工和微粉化加工能提高消化率。添加豌豆粉不影响生长性能、存活率及饲料转化率	Davis等人, 2002年
蓝虾	豌豆粉	30%		1.6	挤压熟化能提高饲料转化率和蛋白质功效比值, 去壳加工无相应效应	Cruz-Suarez等人, 2001年

表7.3 饲喂豌豆蛋白产品的甲壳类的特定生长率、饲料转化率等生产数据（续）

鱼种	豌豆制品	饲料添加比例	SGR	FCR	说明	参考文献
小龙虾						
小龙虾幼虾	PPC	0%	3.19	1.24	用豌豆浓缩蛋白代替35%以下的鱼粉不影响生长性能和饲料转化率	Fuertes等人, 2013年
		20.15%	3.17	1.26		
小龙虾幼虾	PPC	28.20%（最大添加比例）	3.13	1.29	在密集养殖前100天用豌豆浓缩蛋白代替35%以下的鱼粉蛋白不影响小龙虾的生长性能和饲料转化率	Fuertes等人, 2013年
		35.53%	2.46	1.60		

SGR（%/天）=（100（Ln（平均最终体重）-Ln（平均初始体重））/时间（天数））。

抗营养因子和豌豆加工在水产饲料中的应用

总体上，豌豆的抗营养因子含量较低，淀粉含量较高（44.9%~48.68%干物质；Nikolopoulou等人，2006年；Wang和Daun，2004年），可能被看成某些鱼类（肉食性鱼类）的抗营养因子，但对另一些鱼类（草食性鱼类）而言，情况并非如此。豌豆粉和豌豆浓缩蛋白的淀粉含量高，限制了它们在鲑鱼饲料中的添加比例。Øverland等人（2009年）对大西洋鲑鱼的研究显示，肉食性鱼类的淀粉消化和代谢能力有限，能量消化率较低。采用热处理，例如在挤压过程中进行湿热处理使淀粉糊化能提高豌豆制品的能量消化率。举例来说，研究发现，豌豆热处理能提高鳟鱼的营养物质消化率，能量消化率从43%增加到53~69%，蛋白质消化率从84%增加到87%（Burel等人，2000年；Pfeffer等人，1995年）。对于大西洋鲑鱼挤压饲料，热处理还能提高豌豆浓缩蛋白原料的营养物质消化率（Carter和Hauler，2000年）。

除了提高豌豆蛋白产品的能量利用率以外，挤压豌豆还能在适当的工艺条件下很好地膨化，不过膨化耐久性不如谷物等膨化饲料原料（Kraugerud等人，2011年）。饲料生产企业可以在饲料配方中添加具有膨胀性的豌豆以及谷物、膨胀稳定性较高的豆类等具有稳定性的原料，利用两种原料独特的物理性质生产理想的颗粒水产饲料。

豌豆粉还含有单宁、非淀粉多糖、植物雌激素、植酸、皂甙等抗营养因子（Nikolopoulou等人，2006年），具体约含0.5%的单宁、1.8%的非淀粉多糖（Gatta等人，2013年；Nikolopoulou等人，2006年）以及1.77微克/克的植物雌激素（daidzein、genistein和glycitein）（Gatta等人，2013年）。豌豆中的单宁与蛋白质含量和非淀粉多糖含量呈正相关（0.43），随着蛋白质含量和非淀粉多糖含量的增加而增加（Nikolopoulou等人，2006年）。

蛋白浓缩使豌豆浓缩蛋白的蛋白质含量超过豌豆的蛋白质含量，同时减少豌豆中的部分（而非全部）抗营养因子。例如，在利用风选法生产豌豆浓缩蛋白的过程中，植酸和皂甙随着蛋白质的浓缩而浓缩。豌豆粉含0.48%的植酸，豌豆浓缩蛋白含0.72%的植酸（Collins等人，2013年），豌豆粉含0.18%的皂甙，豌豆浓缩蛋白含0.54%的皂甙（Curl等人，1985年）。饲料配制还应考虑抗营养因子。举例来说，其他植物性饲料原料也含有植酸，解决办法是在饲料中添加植酸酶或加工豌豆蛋白组分，这种处理方法还会减少低聚糖的含量（Fredrikson等人，2001年）。

皂甙是一种抗营养因子。鲑鱼对皂甙具有生理敏感性。皂甙含量会影响豌豆和豌豆浓缩蛋白在肉食性鱼类（及其他敏感的杂食性鱼类和草食性鱼类）饲料中的最大添加比例。皂甙可溶于溶剂。豆粕的大豆浓缩蛋白生产等涉及水溶或醇溶的浓缩蛋白生产工艺能减少皂甙含量。较实用的饲料配制方法是确保饲料营养均衡，能满足鱼类的营养需求，不超过每一种鱼类的抗营养因子耐受性。在结合使用多种含有共同抗营养因子的植物性饲料原料时，可能因疏忽而超出鱼类的抗营养因子耐受性。以含有豌豆制品和豆粕的饲料为例，在按最大推荐比例添加相关原料的情况下，饲料的皂素含量可能会对鱼类生产造成负面影响。

植物性饲料原料是宝贵的营养源，与其他原料结合使用更具营养价值。在充分考虑营养物质和抗营养因子的情况下，植物性饲料原料与其他原料相结合能满足鱼类的营养需求，且不超过鱼类的最大抗营养因子耐受性。要确定豌豆或豌豆浓缩蛋白的饲喂指导原则，需要先确定豌豆或豌豆浓缩蛋白在鱼类饲料中的最大添加比例，然后按不超过最大比例的比例添加豌豆或豌豆浓缩蛋白，以促进鱼类的生产性能和健康。

饲喂豌豆和豌豆浓缩蛋白的鱼类和甲壳类的生长和发育

表7.1是饲喂豌豆和豌豆浓缩蛋白的鱼类和甲壳类的生产数据。目前有限的尼罗罗非鱼、鲤鱼等杂食性鱼类的生产数据显示，罗非鱼对饲料中15%以下的豌豆粉具有耐受性（Djeziri等人，2017年）。Davies和Gouveia（2010年）的研究显示，豌豆粉的高蛋白含量有利于鲤鱼鱼苗和幼鱼。他们在鲤鱼饲料中添加44%的未加工豌豆粉，结果显示，鲤鱼的生产性能与对照组相比有所提高，添加45%热处理（高压蒸汽加工）豌豆粉时，鲤鱼的生产性能进一步提高。

随着鱼类资源的不断减少，鱼粉成本不断上升，供应不断下降。在这种背景下，水产养殖业不得不考虑降低鲑鱼饲料中的鱼粉使用比例。只能用另一种具有同等性能的蛋白制品（或几种蛋白制品的组合）代替鱼粉。肉食性鱼类的蛋白质需求高，对抗营养因子敏感。传统的肉食性鱼类饲料的鱼粉含量较高。正因为如此，研究人员对豌豆蛋白制品在鲑鱼饲料中的应用展开了较为广泛的研究。以可消化营养物质为基础在虹鳟鱼饲料中添加豌豆和豌豆浓缩蛋白时，豌豆和豌豆浓缩蛋白的最大添加比例可以达到30%，且不影响虹鳟鱼的生长率和饲料转化率（Collins等人，2012年）。

Øverland等人在2009年开展了一项研究显示，给大西洋鲑鱼饲喂豌豆浓缩蛋白（35%粗蛋白和50%粗蛋白）和鱼粉含量较高的对照饲料，结果显示，大西洋鲑鱼的生长性能没有差异。胴体质量、胴体组成、肠道形态、消化道各段重量等指标也不受影响（Øverland等人，2009年）。Carter和Hauler（2000年）也研究了添加27.6%豌豆浓缩蛋白对大西洋鲑鱼生长性能的影响。结果显示，豌豆浓缩蛋白的添加比例超过35%会导致大西洋鲑鱼后肠发炎，刷状缘酶活性下降，后肠疾病发病（Penn等人，2011年）。

相关人员已经用几种鲈鱼进行了豌豆制品研究，结果不尽相同，豌豆制品的最大添加比例尚不明确。在用大口黑鲈幼鱼进行的研究中，饲料中的豌豆淀粉最高添加比例是10%，结果表明豌豆淀粉是优质碳水化合物原料，能改善大口黑鲈幼鱼的蛋白质功效比值，提高生长率（Song等人，2018年）。亚洲鲈鱼幼鱼饲料中添加的去壳青豌豆以10%为宜（Ganzon-Naret，2018年），欧洲鲈鱼幼鱼饲料中添加30%的豌豆粉可取得良好的效果（Gouveia和Davies，2000年）。用小龙虾进行的研究显示，从外源性饲喂开始，在幼年期小龙虾的挤压饲料中添加28.2%的豌豆浓缩蛋白不影响小龙虾的生长性能和饲料转化率（Fuertes等人，2013年）。很多研究表明，未加工豌豆、去壳豌豆、膨化豌豆和微粉化豌豆都是良好的虾类饲料原料，对虾类的生长性能、饲料转化率和存活率没有负面影响（Roy等人，2009年；Bautista-Teruel等人，2003年；Davis等人，2002年；Cruz-Suarez等人，2001年）。研究证明，对豌豆原料进行微粉化、挤压等热加工也能提高虾类的消化率和饲料转化率（Cruz-Suarez等人，2001年；Davis等人，2002年）。

饲喂饲料豌豆的可持续性影响：案例研究



气候变化等环境问题已经成为全球性问题。粮食农业体系被视为引起温室气体排放、水资源消耗和生物多样性丧失的主要因素。粮食体系中的主要影响因素是畜牧业生产，影响范围涉及温室气体排放、水资源消耗、水质和土地利用。与此同时，畜牧业生产的每个环节都有机会减少环境影响。

豆类的种植制度具有良好的环境效益和农业效益。农业效益包括豆类的固氮能力以及豆类轮作产生的水土保持效益。加拿大西部的作物种植制度充分证明了豆类的农业效益（Luce等人，2015年；Miller等人，2003年）。豆类作物的农业效益还能产生环境效益。具体而言，豆类作物具有固氮能力，对氮肥的需求较低，减少了豆类种植制度的温室气体排放（MacWilliam等人，2018年；Gan等人，2011年）。

饲料生产是畜牧业生产中环境影响最大的环节之一。使用环境影响较小的豆类有助于降低畜牧业生产的环境影响。北美和欧洲的多项研究表明，在牲畜饲料中添加豆类具有环境效益（阿尔伯塔省农业局，2009年）。

在牲畜饲料中添加豆类能减少猪肉和鸡蛋生产系统的环境影响，为开发和销售环境影响较低的牲畜产品（低碳猪肉等）创造了条件。

饲料豌豆对加拿大西部猪肉和鸡蛋生产的生命周期评估

2020年，加拿大豆类协会委托相关机构开展项目，研究在牲畜饲料中添加加拿大豌豆对加拿大西部猪肉生产和鸡蛋生产的环境影响和环境效益。

分析包含3个方面：（1）动物饲料生产；（2）猪肉生产；及（3）鸡蛋生产。项目小组针对以下三个方面计算并说明了相关环境影响：

- 2020年加拿大西部生产的一公斤动物（蛋鸡或猪）饲料；
- 2020年阿尔伯塔省生产的一打鸡蛋，截至鸡蛋分级机；
- 2020年萨斯喀彻温省饲养的一公斤（1kg）猪肉（胴体重量），截至肉类加工厂。

根据国际标准化组织的标准（ISO14040/14044）进行生命周期评估。

先设定每一项分析的系统界限。动物饲料生产系统包括作物（种子、化肥、农药、机械使用、用水和土地使用）生产、添加剂生产及饲料转化。鸡蛋生产系统包括生产一打阿尔伯塔省鸡蛋所涉及的全部环节，包括饲料生产以及鸡蛋清洗和分级。猪肉生产系统包括生产1公斤萨斯喀彻温省猪肉（胴体重量）所涉及的全部环节，包括饲料生产和屠宰。

生命周期清单数据

阿尔伯塔大学和萨斯喀彻温大学的动物营养专家提供了标准饲料和豌豆饲料数据（表1和表2）。Bamber等人在2020年建立了加拿大豌豆生产模型，每公斤豌豆的环境影响结果应用于本研究。用全球饲料生命周期评估研究所（GFLI）和AGRIBALYSE的数据库对加拿大作物产量（不包括豆类作物）和添加剂进行建模。根据加拿大统计局2017~2019年的统计数据修改作物产量值（干物质值）。

对于鸡蛋生产系统，本研究对孵化场、农场运营以及清洗分级生命周期清单进行建模，将阿尔伯塔省农业和农村发展局（AARD）2014年发布的《鸡蛋的环境影响》作为数据来源。对于猪肉生产系统，本研究未对农场运营和肉类生产生命周期清单进行建模，将猪肉价值链圆桌会议2018年发布的《加拿大猪肉生产环境生命周期评估》作为主要的数据来源，从中摘取气候变化的直接影响数据。

表1 蛋鸡饲料的平均组成（不包括添加剂）

成分	标准蛋鸡 饲料	豌豆蛋鸡 饲料	阿尔伯塔省用户来源	生命周期评估数据来源
单位（克/天）				
作物				
碎小麦	50.04	38.95	加拿大西部*	全球饲料生命周期评估研究所数据库，根据AGECO的内部数据作相应的修改
大麦粉	15	15	加拿大西部	
豆粕	10	-	美国中西部大豆	Ecoinvent数据库，根据阿尔伯塔省的具体情况进行调整
菜粕	10	10	在阿尔伯塔省加工的豆粕	全球饲料生命周期评估研究所数据库，根据AGECO内部数据作相应的修改
豌豆	-	20	加拿大西部（阿尔伯塔省）	Bamber等人，2020年
菜籽油	2.65	3.60	加拿大西部	全球饲料生命周期评估研究所数据库，根据AGECO内部数据作相应的修改

表2 猪饲料的平均组成（不包括添加剂）

成分	标准猪饲料	豌豆猪饲料	生命周期评估数据来源
	动物生命周期总公斤数		
	作物		
小麦	85	75	GFU 数据库，根据 AGECO内部数据作相应的修改
豆粕（47%）	32	8	Ecoinvent数据库，根据阿尔伯塔省的具体情况进行调整

表2 猪饲料的平均组成（不包括添加剂（续）

成分	标准猪饲料	豌豆猪饲料	生命周期评估数据来源
	动物生命周期总公斤数		
作物			
菜粕	34	19	全球饲料生命周期评估研究所数据库，根据AGECO内部数据作相应的修改
小麦麸	13	36	ecoinvent数据库，经调整
豌豆	0	129	Bamber等人，2020年
菜籽油	3	2	全球饲料生命周期评估研究所数据库，根据AGECO内部数据作相应的修改

结果——动物饲料生产

研究用于比较饲料生产的环境指标包括气候变化（又称全球变暖，用温室气体（GHG）排放量测定，单位：每公斤二氧化碳当量）、水资源短缺（单位：全球人均短缺立方米当量）、土地使用清单（单位：平方米·年）以及生物多样性影响——土地占用（单位：PDF·平方米·年）。本研究只能说明在饲料中添加豌豆对鸡蛋生产和猪肉生产的温室气体排放有影响。

气候变化

从气候变化指标来看，将标准饲料改成豌豆饲料对气候变化是有益的，能使猪饲料生产的温室气体排放减少**28%**（-0.1公斤二氧化碳当量/公斤饲料），使蛋鸡饲料生产的温室气体排放减少**13%**（-0.04公斤二氧化碳当量/公斤饲料）。

结果——鸡蛋生产和猪肉生产

碳排放结果显示，用豌豆饲料代替传统蛋鸡饲料能使生产每打鸡蛋的碳排放量减少0.05公斤二氧化碳当量，即，使饲料生产的温室气体排放量减少13%，使整个鸡蛋生产生命周期的温室气体排放量减少**6%**。在本例中，除了饲料生产，鸡蛋生产和猪肉生产的其他活动相同，因此，尽管差异小于10%，仍然可视作为显著性差异。

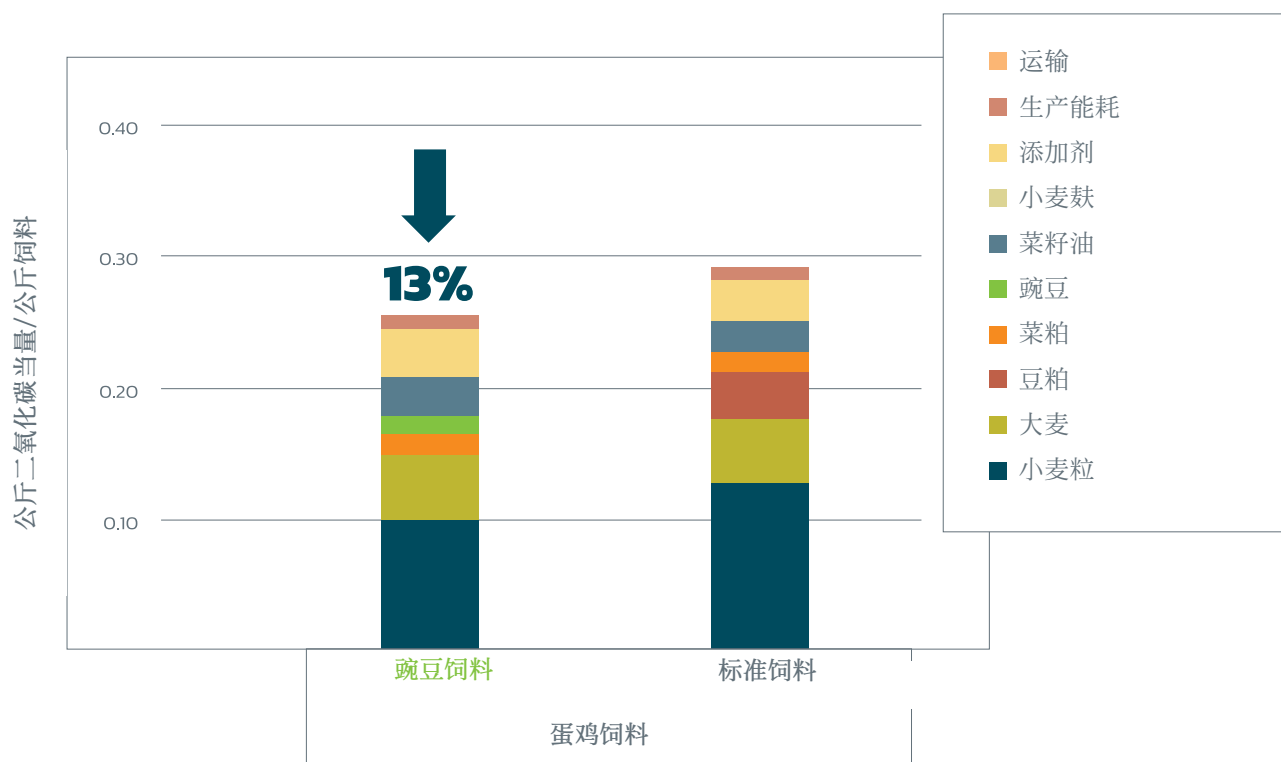


图5-1 动物饲料生产系统中饲料原料对气候变化影响的作用（政府间气候变化专门委员会2013年方法）（每公斤饲料）

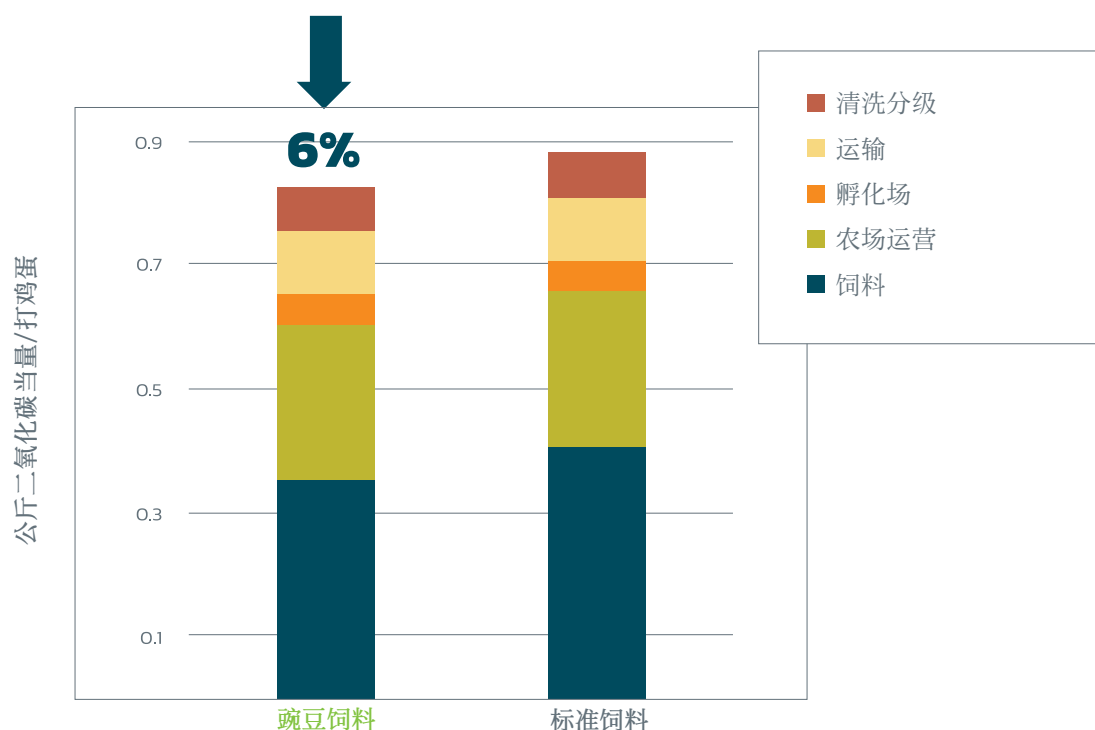


图6-1 鸡蛋生产系统中生命周期阶段对气候变化影响的作用（政府间气候变化专门委员会2013年方法）（每打鸡蛋）

另一方面，用豌豆饲料代替传统猪饲料能使生产每公斤猪肉（胴体质量）的碳排放量减少0.36公斤二氧化碳当量，即，使饲料生产的温室气体排放量减少28%，使整个猪肉生产生命周期的温室气体排放量减少18%。

项目小组假设除了饲料生产外，其他活动均保持不变。在此基础上得出上述结果。

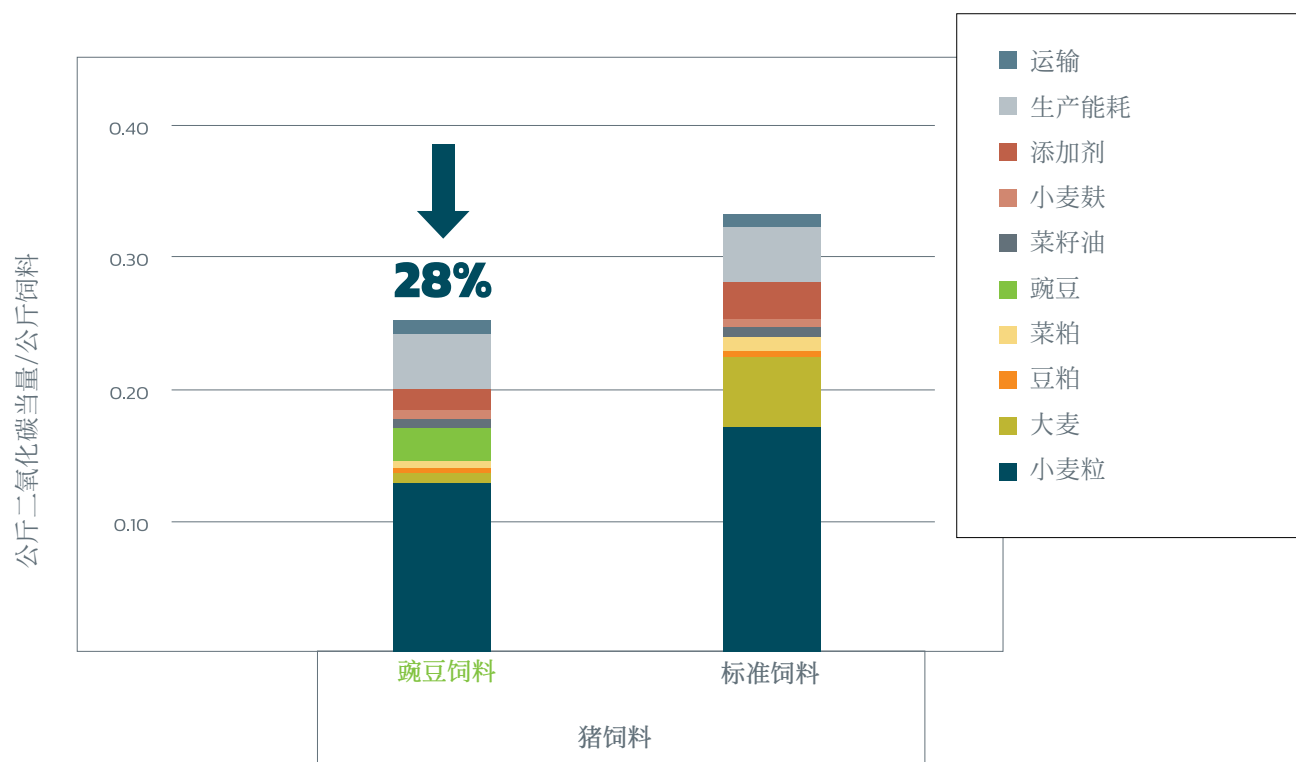


图7-1 猪肉生产系统中生命周期阶段对气候变化影响的作用（政府间气候变化专门委员会2013年方法）（每公斤按胴体重量计算的猪肉）

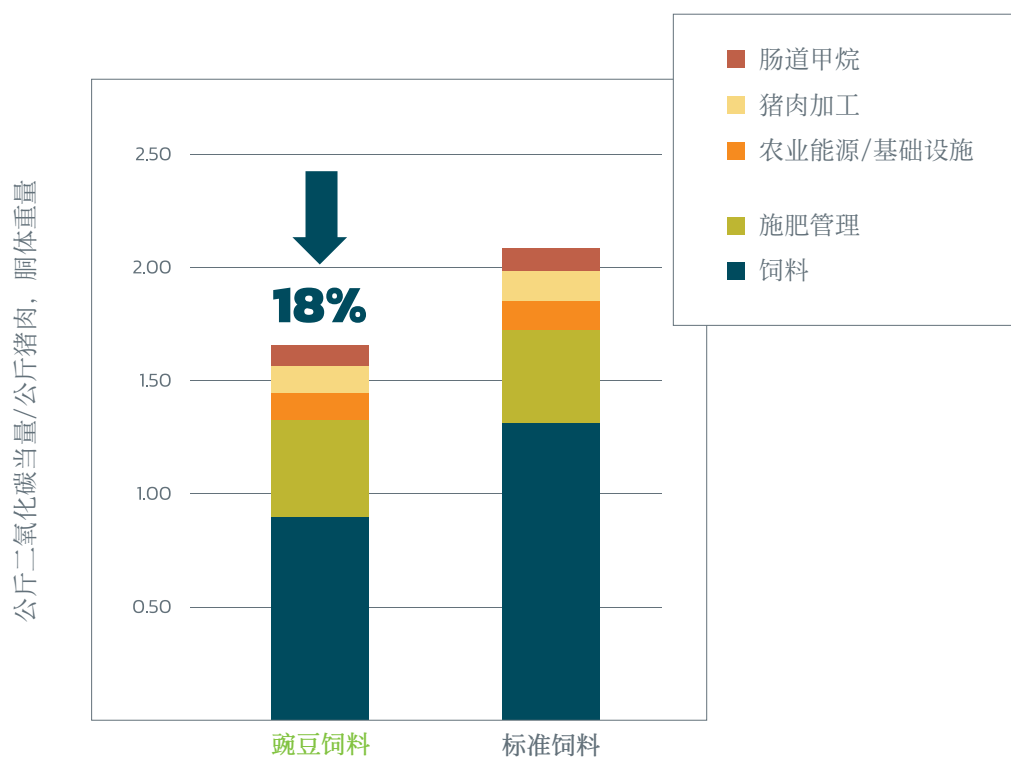


图7-1 猪肉生产系统中生命周期阶段对气候变化影响的作用（政府间气候变化专门委员会2013年方法）（每公斤按胴体重量计算的猪肉）

结论

本研究显示，在加拿大西部的猪饲料和蛋鸡饲料中添加加拿大豌豆很有可能减少猪肉生产和鸡蛋生产的生命周期温室气体排放量，主要原因在于用豌豆代替的小麦、大麦、菜粕、豆粕等饲料原料的碳排放量相对较大。豌豆在鸡蛋生产系统中发挥的减排效应不如在猪肉生产系统中发挥的减排效应，但仍然比较显著。

全球粮食体系不断探索新的方法，以期减少粮食生产的环境影响。在生产和消费两方面具有环境效益的豆类也许能为粮食生产体系的减排提供解决方案。对于畜牧业生产，应将添加豌豆等豆类作为畜牧业生产减排的潜在策略。

REFERENCES

- Alberta Agriculture and Rural Development. 2009. A Life Cycle Analysis of Carbon Dioxide Equivalents (CO₂e) of Alberta Barley, Wheat, Peas and Canola Meal Used in Pork Production, Slaughter and Further Processing. File no. 552655.
- Gan, Y., Liang, C., Hamel, C., Cutforth, H., Wang, H., 2011. Strategies for reducing the carbon footprint of field crops for semiarid areas. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 31, 643–656.
- Luce, M.S., Grant, C.A., Zebbarth, B.J., Ziadi, N., O'Donovan, J.T., Blackshaw, R.E., Harker, K.N., Johnson, E.N., Gan, Y., Lafond, G.P., May, W.E., Khakbazan, M., Smith, E.G., 2015. Legumes can reduce economic optimum nitrogen rates and increase yields in a wheat-canola cropping sequence in western Canada. *Field Crop Res.* 179, 12–25.
- MacWilliam, S., Parker, D., Marinangeli, C.P., Trémorin, D., 2018 A meta-analysis approach to examining the greenhouse gas implications of including dry peas (*Pisum sativum* L.) and lentils (*Lens culinaris* M.) in crop rotations in western Canada. *Agric. Syst.* 166, 101–110.
- Miller, P.R., Gan, Y., McConkey, B.G., McDonald, C.L., 2003. Pulse Crops for the Northern Great Plains. I. Grain productivity and residual effects on soil water and nitrogen. *Agron. J.* 95, 972–979.

致谢



感谢加拿大豆类协会给予本研究的资助和技术指导，感谢以下人员给予本研究的帮助（姓名按字母顺序排列）：

- 萨斯喀彻温大学助理教授Denise Beaulieu博士
- 萨斯喀彻温大学名誉教授David Christensen博士
- 达尔豪斯大学助理教授Stephanie Collins博士
- 达尔豪斯大学Leah Hocquard
- 萨斯喀彻温大学Namalika Karunaratne博士
- 萨斯喀彻温省萨斯卡通市Janna Moats
- 萨斯喀彻温大学副教授、饲料加工技术研究主任Rex Newkirk博士（首席科学家）
- 萨斯喀彻温大学助理教授Gabriel Ribeiro博士
- 萨斯喀彻温大学加拿大饲料研究中心Jing Wang博士

萨斯喀彻温大学加拿大饲料研究中心根据委托合同编制本《饲料行业指南》。如果对本指南有任何疑问，请联系萨斯喀彻温大学加拿大饲料研究中心的Jing Wang□Jessica□：电话：306-966-6807，电子邮件：jing.wang@usask.ca，网址：agbio.usask.ca/CFRC。



1. FEED PEA INDUSTRY IN CANADA

AAFC. 2020. Reports and statistics data for Canadian principal field crops. Agriculture and Agri-Food Canada. Available from: <https://www.agr.gc.ca/eng/crops/reports-and-statistics-data-for-canadian-principal-field-crops/canada-outlook-for-principal-field-crops-2020-11-20/?id=1605906326201>

Statistics Canada. 2020. Data. Agriculture and food. Crop production – Statistics Canada. Available from: https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/type/data?subject_levels=32%2C3201&HPA=1

2. FEED PEA NUTRIENT COMPOSITION

Adamidou, S., I. Nengas, K. Grigorakis, D. Nikolopoulou, and K. Jauncey. 2011. Chemical composition and antinutritional factors of field peas (*Pisum sativum*), chickpeas (*Cicer arietinum*), and faba beans (*Vicia faba*) as affected by extrusion preconditioning and drying temperatures. *Cereal Chem.* 88:80–86. doi:10.1094/CCHEM-05-10-0077.

Boye, J., F. Zare, and A. Pletch. 2010. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Res. Int.* 43:414–431. doi:10.1016/j.foodres.2009.09.003.

Canadian Feed Peas Industry Guide. 2003. 3rd ed. Pulse Canada, Winnipeg, MB, Canada. Available from: <https://cigi.ca/wp-content/uploads/2011/12/Pea-Guide-2003.pdf>.

Ciurescu, G., I. Toncea, M. Ropotă, and M. Hăbeanu. 2018. Seeds composition and their nutrients quality of some pea (*Pisum sativum* L.) and lentil (*lens culinaris medik.*) cultivars. *Rom. Agric. Res.* 35:101–108.

Dahl, W. J., L. M. Foster, and R. T. Tyler. 2012. Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). *Br. J. Nutr.* 108:3–10. doi:10.1017/S0007114512000852.

Dang, J., J. Arcot, and A. Shrestha. 2000. Folate retention in selected processed legumes. *Food Chem.* 68:295–298. doi:10.1016/S0308-8146(99)00202-2.

Evonik AMINODat 4.0 amino acid database. Essen, Germany.

Herwig, E., D. Abbott, K. V. Schwan-Lardner, and H. L. Classen. 2019a. Effect of rate and extent of starch digestion on broiler chicken performance. *Poult. Sci.* 98:3676–3684. doi:10.3382/ps/pey580.

Humer, E. and Zebeli, Q., 2015. Phytate in feed ingredients and potentials for improving the utilization of phosphorus in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 209, pp.1–15.

Lam, A. C. Y., A. Can Karaca, R. T. Tyler, and M. T. Nickerson. 2018. Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality. *Food Rev. Int.* 34:126–147. doi:10.1080/87559129.2016.1242135.

Mertens, C., L. Dehon, A. Bourgeois, C. Verhaeghe-Cartrysse, and C. Blecker. 2012. Agronomical factors influencing the legumin/vicilin ratio in pea (*Pisum sativum* L.) seeds. *J. Sci. Food Agric.* 92:1591–1596. doi:10.1002/jsfa.4738.



- NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine. 11th rev. Ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- NRC. 1994. Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. Ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Reichart, D. R., and S. L. MacKenzie. 1982. Composition of peas (*Pisum sativum*) varying widely in protein content. *J. Agric. Food Chem.* 30:312–317. doi:10.1021/jf00110a024.
- Sandberg, A. 2002. Bioavailability of minerals in legumes. *Br. J. Nutr.* 88:281–285. doi:10.1079/bjn/2002718.
- Tömösközi, S., R. Lásztity, R. Haraszi, and O. Baticz. 2001. Isolation and study of the functional properties of pea proteins. *Nahrung – Food.* 45:399–401. doi:10.1002/1521-3803(20011001)45:6<399::AID-FOOD399>3.0.CO;2-O.
- Tosh, S. M., and S. Yada. 2010. Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Res. Int.* 43:450–460. doi:10.1016/j.foodres.2009.09.005.

3. FEED PEA FRACTIONS USED IN THE FEED INDUSTRY

- Gunawardena, C. K., R. T. Zijlstra, and E. Beltranena. 2010. Characterization of the nutritional value of air-classified protein and starch fractions of field pea and zero-tannin faba bean in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 88:660–670. doi:10.2527/jas.2009-1980.
- Schneeman, B. O. 2001. Dietary fibre and gastrointestinal Function. In: B.V. McCleary, L. Prosky, editor, *Advanced dietary fibre technology*. Blackwell Science Ltd., Oxford, UK. p. 168–176.
- Thingnes, S. L., A. H. Gaustad, N. P. Kjos, H. Hetland, and T. Framstad. 2013. Pea starch meal as a substitute for cereal grain in diets for lactating sows: The effect on sow and litter performance. *Livest. Sci.* 157:210–217. doi:10.1016/j.livsci.2013.06.023.
- Tosh, S. M., and S. Yada. 2010. Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Res. Int.* 43:450–460. doi:10.1016/j.foodres.2009.09.005.
- Vogelsang-O'Dwyer, M., J. Bez, I. L. Petersen, M. S. Joehnke, A. Detzel, M. Busch, M. Krueger, L. Ispiryan, J. A. O'Mahony, E. K. Arendt, and E. Zannini. 2020. Techno-functional, nutritional and environmental performance of protein isolates from blue lupin and white lupin. *Foods.* 9. doi: 10.3390/foods902023.

4. FEED PEA AND FEED PEA FRACTIONS IN POULTRY DIETS

- Aftab, U., M. Bedford, and D. Creswell. 2018. Prospects of improving efficiency of feed utilisation in broiler. *World Poult. Sci. J.* 74:427–442. doi:10.1017/S0043933918000466
- Al-Marzooqi, W., and J. Wiseman. 2009. Effect of extrusion under controlled temperature and moisture conditions on ileal apparent amino acid and starch digestibility in peas determined with young broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 153:113–130. doi:10.1016/j.anifeeds.2009.05.004.
- Carré, B., R. Escartin, J. P. Melcion, M. Champ, G. Roux, and B. Leclercq. 1987. Effect of pelleting and associations with maize or wheat on the nutritive value of smooth pea (*Pisum sativum*) seeds in adult cockerels. *Br. Poult. Sci.* 28:219–229. doi:10.1080/00071668708416956.



- Carré, B., E. Beaufls, and J. P. Melcion. 1991. Evaluation of protein and starch digestibilities and energy value of pelleted or unpelleted pea seeds from winter or spring cultivars in adult and young chickens. *J. Agric. Food Chem.* 39:468–472. doi:10.1021/jf00003a008.
- Carré, B., J. P. Melcion, J. L. Widiez, and P. Biot. 1998. Effects of various processes of fractionation, grinding and storage of peas on the digestibility of pea starch in chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 71:19–33. doi:10.1016/S0377-8401(97)00140-5.
- Ciurescu, G., and C. O. Pana. 2017. Effect of dietary untreated field pea (*Pisum sativum* L.) as substitute for soybean meal and enzymes supplementation on egg. *Rom. Biotechnol. Lett.* 22:12204–12213.
- Diaz, D., M. Morlacchini, F. Masoero, M. Moschini, G. Fusconi, and G. Piva. 2006. Pea seeds (*Pisum sativum*), faba beans (*Vicia faba* var. *minor*) and lupin seeds (*Lupinus albus* var. *multitalia*) as protein sources in broiler diets: Effect of extrusion on growth performance. *Ital. J. Anim. Sci.* 5:43–53. doi:10.4081/ijas.2006.43.
- Fru-Nji, F., E. Niess, and E. Pfeffer. 2007. Effect of graded replacement of soybean meal by faba beans (*Vicia faba* L.) or field peas (*Pisum sativum* L.) in rations for laying hens on egg production and quality. *Agriculture.* 44:34–41. doi:10.2141/jpsa.44.34.
- Grosjean, F., B. Barrier-Guillot, D. Bastianelli, F. Rudeaux, A. Bourdillon, and C. Peyronnet. 1999. Feeding value of three categories of pea (*Pisum sativum* L.) for poultry. *Anim. Sci.* 69:591–599. doi:10.1017/S1357729800051444.
- Hejdysz, M., S. A. Kaczmarek, M. Adamski, and A. Rutkowski. 2017. Influence of graded inclusion of raw and extruded pea (*Pisum sativum* L.) meal on the performance and nutrient digestibility of broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 230:114–125. doi:10.1016/j.anifeedsci.2017.05.016.
- Hejdysz, M., S. A. Kaczmarek, and A. Rutkowski. 2016. Effect of extrusion on the nutritional value of peas for broiler chickens. *Arch. Anim. Nutr.* 70:364–377. doi:10.1080/1745039X.2016.1206736.
- Herwig, E., D. Abbott, K. V. Schwan-Lardner, and H. L. Classen. 2019a. Effect of rate and extent of starch digestion on broiler chicken performance. *Poult. Sci.* 98:3676–3684. doi:10.3382/ps/pey580.
- Herwig, E., D. Abbott, K. V. Schwan-Lardner, and H. L. Classen. 2019b. Assessing the effect of rate and extent of starch digestion on laying hen performance. *Poult. Sci.* 98:2940–2947. doi:10.3382/ps/pez044.
- Koivunen, E., K. Partanen, S. Perttilä, S. Palander, P. Tuunainen, and J. Valaja. 2016. Digestibility and energy value of pea (*Pisum sativum* L.), faba bean (*Vicia faba* L.) and blue lupin (narrow-leaf) (*Lupinus angustifolius*) seeds in broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 218:120–127. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.05.007.
- Laudadio, V., and V. Tufarelli. 2010. Growth performance and carcass and meat quality of broiler chickens fed diets containing micronized-dehulled peas (*Pisum sativum* cv. *Spirale*) as a substitute of soybean meal. *Poult. Sci.* 89:1537–1543. doi:10.3382/ps.2010-00655.
- Longstaff, M., and J. M. McNab. 1987. Digestion of starch and fibre carbohydrates in peas by adultcockerels. *Br. Poult. Sci.* 28:261–285. doi:10.1080/00071668708416960.
- Masey O'Neill, H. V., M. Rademacher, I. Mueller-Harvey, E. Stringano, S. Kightley, and J. Wiseman. 2012. Standardized ileal digestibility of crude protein and amino acids of UK-grown peas and faba beans by



broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 175:158–167. doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.05.004.

Masoero, F., A. M. Pulimeno, and F. Rossi. 2005. Effect of extrusion, expansion and toasting on the nutritional value of peas, faba beans and lupins. *Ital. J. Anim. Sci.* 4:177–189. doi:10.4081/ijas.2005.177.

Nalle, C. L., V. Ravindran, and G. Ravindran. 2010. Evaluation of faba beans, white lupins and peas as protein sources in broiler diets. *Int. J. Poult. Sci.* 9:567–573. doi:10.3923/ijps.2010.567.573.

Nalle, C. L., V. Ravindran, and G. Ravindran. 2011. Nutritional value of peas (*Pisum sativum* L.) for broilers: Apparent metabolisable energy, apparent ileal amino acid digestibility and production performance. *Anim. Prod. Sci.* 51:150–155. doi:10.1071/AN10100.

Nyachoti, C. M., E. M. Onyango, O. F. Omogbenigun, and O. Adeola. 2004. Nutritional evaluation of peas for ducks. *J. Sci. Food Agric.* 84:474–480. doi:10.1002/jsfa.1641.

Palander, S., P. Laurinen, S. Perttilä, J. Valaja, and K. Partanen. 2006. Protein and amino acid digestibility and metabolizable energy value of pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds for turkeys of different age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 127:89–100. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.07.003.

Proskina, L., and Cerina, S. 2017. Faba beans and peas in poultry feed: economic assessment. *J. Sci. Food Agric.* 97:4391–4398. doi:10.1002/jsfa.8415.

Sharma, N. K., Z. Ban, H. L. Classen, H. Yang, X. Yan, M. Choct, and S. B. Wu. 2021. Net energy, energy utilization, and nitrogen and energy balance affected by dietary pea supplementation in broilers. *Anim. Nutr.* 7:506–511. doi:10.1016/j.aninu.2020.06.012.

Velayudhan, D. E., G. A. Mejicanos, and C. M. Nyachoti. 2019. Evaluation of pea protein isolates as a protein source for broilers. *Poult. Sci.* 98:803–810. doi:10.3382/ps/pey387.

Witten, S., M. A. Grashorn, and K. Aulrich. 2018. Precaecal digestibility of crude protein and amino acids of a field bean (*Vicia faba* L.) and a field pea (*Pisum sativum* L.) variety for broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 243:35–40. doi:10.1016/j.anifeedsci.2018.07.001.

Zduńczyk, Z., J. Jankowski, D. Mikulski, P. Zduńczyk, J. Juśkiewicz, and B. A. Slominski. 2020. The effect of NSP-degrading enzymes on gut physiology and growth performance of turkeys fed soybean meal and peas-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 263. doi:10.1016/j.anifeedsci.2020.114448.

5. FEED PEA AND FEED PEA FRACTIONS IN PIG DIETS

Brooks, K. R., B. R. Wiegand, A. L. Meteer, G. I. Petersen, J. D. Spencer, J. R. Winter, and J. A. Robb. 2009. Inclusion of yellow field peas and carbohydrase enzyme in nursery pig diets to improve growth performance. *Prof. Anim. Sci.* 25:17–25. doi:10.15232/S1080-7446(15)30674-4.

Castell, A. G., W. Guenter, and F. A. Igbasan. 1996. Nutritive value of peas for non-ruminant diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 60:209–227.



- Chrenková, M., Z. Formelová, L. Chrastinová, P. Flak, Z. Čerešňáková, R. Lahučký, M. Poláčíková, and I. Bahelka. 2011. Influence of diets containing raw or extruded peas instead of soybean meal on meat quality characteristics in growing–finishing pigs. *Czech J. Anim. Sci.* 56:119–126. doi:10.17221/1302-cjas.
- Dadalt, J. C., D. E. Velayudhana, M. A. Trindade Neto, B. A. Slominski, and C. M. Nyachoti. 2016. Ileal amino acid digestibility in high protein sunflower meal and pea protein isolate fed to growing pigs with or without multi-carbohydrase supplementation. *J. Anim. Feed Sci. Technol.* 221:62–69. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.08.015.
- Degola, L., and D. Jonkus. 2018. The influence of dietary inclusion of peas, faba bean and lupin as a replacement for soybean meal on pig performance and carcass traits. *Agron. Res.* 16:389–397. doi:10.15159/AR.18.072.
- Gunawardena, C. K., R. T. Zijlstra, and E. Beltranena. 2010. Characterization of the nutritional value of air-classified protein and starch fractions of field pea and zero-tannin faba bean in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 88:660–670. doi:10.2527/jas.2009-1980.
- Hargreaves, L., and W. C. Sauer. 2011. Effects of xylanase and protease supplementation on nutrient digestibility in diets based on peas and wheat fed to weaned pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2:19–26.
- Htoo, J. K., X. Meng, J. F. Patience, M. E. R. Dugan, and R. T. Zijlstra. 2008. Effects of coextrusion of flaxseed and field pea on the digestibility of energy, ether extract, fatty acids, protein, and amino acids in grower–finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 86:2942–2951. doi:10.2527/jas.2007-0313.
- Hugman, J., L. F. Wang, E. Beltranena, J. K. Htoo, and R. T. Zijlstra. 2020. Growth performance of weaned pigs fed raw, cold-pelleted, steam-pelleted, or extruded field pea. *Anim. Feed Sci. Technol.* 264. doi:10.1016/j.anifeedsci.2020.114485.
- Hugman, J., L. Wang, E. Beltranena, J. Htoo, and R. Zijlstra. 2021. Nutrient digestibility of heat-processed field pea in weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 274. doi:10.1016/j.anifeedsci.2021.114891.
- Kiarie, E. G., and C. M. Nyachoti. 2007. Ileal digestibility of amino acids in co-extruded peas and full fat canola for growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 139:40–51. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.11.025.
- Landerio J. L., L. F. Wang, E. Beltranena, and R. T. Zijlstra. 2014. Diet nutrient digestibility and growth performance of weaned pigs fed field pea. *Anim. Feed Sci. Technol.* 198:295–303. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.10.014.
- Montoya, C. A., and P. Leterme. 2011. Effect of particle size on the digestible energy content of field pea (*Pisum sativum* L.) in growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 169:113–120. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.06.004.
- NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Owusu-Ansah, Y. J., and S. M. McCurdy. 1991. Pea proteins: a review of chemistry, technology of production, and utilization. *Food Rev. Int.* 7:103–113. doi:10.1080/87559129109540903.
- Prandini, A., S. Sigolo, M. Morlacchini, C. Cerioli, and F. Masoero. 2011. Pea (*Pisum sativum*) and faba bean (*Vicia faba* L.) seeds as protein sources in growing–finishing heavy pig diets: Effect on growth performance, carcass characteristics and on fresh and seasoned Parma ham quality. *Ital. J. Anim. Sci.* 10:176–183. doi:10.4081/ijas.2011.e45.
- Price, K. R., N. M. Griffiths, C. L. Curl, and G. R. Fenwick. 1985. Undesirable sensory properties of the dried pea (*Pisum sativum*). The role of saponins. *Food Chem.* 17:105–115. doi:10.1016/0308-8146(85)90079-2.



- Smith, L. A., J. G. M. Houdijk, D. Homer, and I. Kyriazakis. 2013. Effects of dietary inclusion of pea and faba bean as a replacement for soybean meal on grower and finisher pig performance and carcass quality. *J. Anim. Sci.* 91:3733–3741. doi:10.2527/jas.2012-6157.
- Stein, H. H., and R. A. Bohlke. 2007. The effects of thermal treatment of field peas (*Pisum sativum* L.) on nutrient and energy digestibility by growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:1424–1431. doi:10.2527/jas.2006-712.
- Stein, H. H., A. K. R. Everts, K. K. Sweeter, D. N. Peters, R. J. Maddock, D. M. Wulf, and C. Pedersen. 2006. The influence of dietary field peas (*Pisum sativum* L.) on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. *J. Anim. Sci.* 84:3110–3117. doi:10.2527/jas.2005-744.
- Stein, H. H., D. N. Peters, and B. G. Kim. 2010. Effects of including raw or extruded field peas (*Pisum sativum* L.) in diets fed to weanling pigs. *J. Sci. Food Agric.* 90:1429–1436. doi:10.1002/jsfa.3960.
- Kiarie, E. G., and C. M. Nyachoti. 2007. Ileal digestibility of amino acids in co-extruded peas and full fat canola for growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 139:40–51. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.11.025.
- Rajendram, J. 2012. Behavioural analysis of pigs when presented with pea-diets. MSc Thesis Dissertation. University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada.
- Thacker, P. A., V. J. Racz, and H. W. Soita. 2004. Performance and carcass characteristics of growing–finishing pigs fed barley-based diets supplemented with Linpro (extruded whole flaxseed and peas) or soybean meal. *Can. J. Anim. Sci.* 84:681–688. doi: http://dx.doi.org/10.4141/A04-025.
- Thingnes, S. L., A. H. Gaustad, N. P. Kjos, H. Hetland, and T. Framstad. 2013. Pea starch meal as a substitute for cereal grain in diets for lactating sows: The effect on sow and litter performance. *Livest. Sci.* 157:210–217. doi:10.1016/j.livsci.2013.06.023.
- Tuśnio, A., M. Taciak, M. Barszcz, E. Świąch, I. Bachanek, and J. Skomiał. 2017. Effect of replacing soybean meal by raw or extruded pea seeds on growth performance and selected physiological parameters of the ileum and distal colon of pigs. *PLoS ONE.* 12. doi:10.1371/journal.pone.0169467.
- Valencia, D. G., M. P. Serrano, C. Centeno, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2008. Pea protein as a substitute of soya bean protein in diets for young pigs: Effects on productivity and digestive traits. *Livest. Sci.* 118:1–10. doi:10.1016/j.livsci.2008.01.018.
- Vose, J. R., M. J. Basterrechea, P. A. J. Gorin, A. J. Finlayson, and C. G. Youngs. 1976. Air classification of field peas and horsebean flours: chemical studies of starch and protein factors. *Cereal Chem.* 53:928–936.
- White, G. A., L. A. Smith, J. G. M. Houdijk, D. Homer, I. Kyriazakis, and J. Wiseman. 2015. Replacement of soya bean meal with peas and faba beans in growing/finishing pig diets: Effect on performance, carcass composition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 209:202–210. doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.08.005.
- Zaworska, A., M. Kasprończ-Potocka, A. Rutkowski, and D. Jamroz. 2018. The influence of dietary raw and extruded field peas (*Pisum sativum* L.) on nutrients digestibility and performance of weaned and fattening pigs. *J. Anim. Feed Sci.* 27:123–130. doi:10.22358/jafs/91209/2018.



6. FEED PEAS IN RUMINANT DIETS

Aguilera, J. F., M. Bustos, and E. Molina. 1992. The degradability of legume seed meals in the rumen: effect of heat treatment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 36:101–112. doi:10.1016/0377-8401(92)90090-S.

Anderson, V. 1999. Field peas in creep feed for beef calves. *Beef and Bison Production Field Day Proceedings*, Carrington Research Extension Center, North Dakota State University 22:1–4.

Anderson, V. L., and J. P. Schoonmaker 2004. Effect of processing field peas in creep feed on performance of nursing calves. *Carrington Research Extension Center Beef Production Field Day Report*, North Dakota State Univ., Fargo. 28:34–37.

Benchaa, C., M. Vernay, C. Bayourthe, and R. Moncoulon. 1994. Effects of extrusion of whole horse beans on protein digestion and amino acid absorption in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:1360–1371. doi:10.3168/jds.S0022-0302(94)77075-2.

Corbett, R., L. Goonewardene, and E. Okine. 1995. Effects of feeding peas to high-producing dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 75:625–629.

De Boer, G., R. Corbett, J. Kennelly, G. Van Doesburg, J. Collier, H. Lehman, and I. Gorrie. 1991. Inclusion of peas in concentrates for young calves. *Agriculture and Forestry Bulletin*.

Fendrick, E., I. Rush, D. Brink, and D. Baltensperger. 2005. Effects of field peas in beef finishing diets. *Nebraska Beef Cattle Reports*.

Gelvin, A. A., G. P. Lardy, S. A. Soto-Navarro, D. G. Landblom, and J. S. Caton. 2004. Effect of field pea-based creep feed on intake, digestibility, ruminal fermentation, and performance by nursing calves grazing native range in western North Dakota. *J. Anim. Sci.* 82:3589–3599. doi:10.2527/2004.82123589x.

Gilbery, T. C., G. P. Lardy, S. A. Soto-Navarro, M. L. Bauer, and V. L. Anderson. 2007. Effect of field peas, chickpeas, and lentils on rumen fermentation, digestion, microbial protein synthesis, and feedlot performance in receiving diets for beef cattle. *J. Anim. Sci.* 85:3045–3053. doi:10.2527/jas.2006-651.

Goelema, J. 1999. Processing of legume seeds: effect on digestive behaviors in dairy cows. PhD Thesis. Wageningen Agricultural University.

Heuzé, V., G. Tran, R. Delagarde, M. Lessire, and F. Lebas. 2017. Pea seeds. *Feedipedia*, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO.

Ilse, B., V. Anderson, and J. Schoonmaker. 2006. The effect of pelleting creep feed with field pea grain on nursing calf performance. *Prof. Anim. Sci.* 23:1–7. doi:10.1532/S1080-7446(15)30931-1.

Jenkins, K. H., J. T. Vasconcelos, J. B. Hinkle, S. A. Furman, A. S. de Mello, L. S. Senaratne, S. Pokharel, and C. R. Calkins. 2011. Evaluation of performance, carcass characteristics, and sensory attributes of beef from finishing steers fed field peas. *J. Anim. Sci.* 89:1167–1172. doi:10.2527/jas.2009-2552.

Khorasani, G. R., E. K. Okine, R. R. Corbett, and J. J. Kennelly. 2001. Nutritive value of peas for lactating dairy cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 81:541–551. doi:10.4141/a01-019.

Lalles J. P. 1993. Nutritional and antinutritional aspects of soyabean and field pea proteins used in veal calf production: a review. *Livest. Prod. Sci.* 34:181–202. doi:10.1016/0301-6226(93)90106-R.



- Lardy, G. P., B. A. Loken, V. L. Anderson, D. M. Larson, K. R. Maddock-Carlin, B. R. Ilse, R. Maddock, J. L. Leupp, R. Clark, J. A. Paterson, and M. L. Bauer. 2009. Effects of increasing field pea (*Pisum sativum*) level in high-concentrate diets on growth performance and carcass traits in finishing steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 87:3335–3341. doi:10.2527/jas.2009-1785.
- Masoero, F., M. Moschini, G. Fusconi, and G. Piva. 2006. Raw, extruded and expanded pea (*Pisum sativum*) in dairy cows diets. *Ital. J. Anim. Sci.* 5:237–247. doi:10.4081/ijas.2006.237.
- Mbugi, P. K., J. R. Ingalls, and H. R. Sharma. 1989. Evaluation of pea protein concentrate as a source of protein in milk replacers for Holstein calves. *Anim. Feed Sci. Technol.* 24: 267–274. doi:10.1016/0377-8401(89)90148-X.
- Nocek, J. E., and S. Tamminga. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 74:3598–3629.
- Penner, G. B., M. A. Steele, J. R. Aschenbach, and B. W. McBride. 2011. Ruminant Nutrition Symposium: Molecular adaptation of ruminal epithelia to highly fermentable diets. *J. Anim. Sci.* 89:1108–1119. doi:10.2527/jas.2010-3378.
- Petit, H. V., R. Rioux, and D. R. Ouellet. 1997. Milk production and intake of lactating cows fed raw or extruded peas. *J. Dairy Sci.* 80:3377–3385. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76313-6.
- Pol, M. V., A. N. Hristov, S. Zaman, and N. Delano. 2008. Peas can replace soybean meal and corn grain in dairy cow diets. *J. Dairy Sci.* 91:698–703. doi:10.3168/jds.2007-0543.
- Soto-Navarro, S. A., A. M. Encinias, M. L. Bauer, G. P. Lardy, and J. S. Caton. 2012. Feeding value of field pea as a protein source in forage-based diets fed to beef cattle. *J. Anim. Sci.* 90:585–591. doi:10.2527/jas.2011-4098.
- Van Straalen, W., and S. Tamminga. 1990. Protein degradation in ruminant diets. *Feedstuff Evaluation*. p. 55–72.
- Walhain, P., M. Foucart, and A. Thewis. 1992. Influence of extrusion on ruminal and intestinal disappearance in sacco of pea (*Pisum sativum*) proteins and starch. *Anim. Feed Sci. Technol.* 38:43–55. doi:10.1016/0377-8401(92)90075-H.
- Yu, P., J. Goelema, B. Leury, S. Tamminga, and A. Egan. 2002. An analysis of the nutritive value of heat processed legume seeds for animal production using the DVE/OEB model: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 99:141–176. doi:10.1016/S0377-8401(02)00114-1.
- Zhao, F., W. Ren, A. Zhang, N. Jiang, W. Liu, and F. Wang. 2018. Effects of different amylose to amylopectin ratios on rumen fermentation and development in fattening lambs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 31:1611–1618. doi:10.5713/ajas.17.0833.

7. FEED PEAS IN AQUAFEEDS

- Bautista-Teruel M.N., Eusebio P.S. and T.P. Welsh. 2003. Utilization of feed pea, *Pisum sativum*, meal as a protein source in practical diets for juvenile tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*. 225:121–131. doi:10.1016/S0044-8486(03)00284-9
- Burel, C., T. Boujard, F. Tulli, and S. J. Kaushik. 2000. Digestibility of extruded peas, extruded lupin, and rapeseed meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*). *J. Aqua.* 188:285–298. doi:10.1016/S0044-8486(00)00337-9.



Carter, C. G., and R.C. Hauler. 2000. Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J. Aqua.* 185:299–311. doi:10.1016/S0044-8486(99)00353-1.

Collins, S. A. 2014. Antinutritional factors in modeling plant-based rainbow trout diets. PhD Thesis Dissertation. University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada.

Collins, S. A., A. R. Desai, G. S. Mansfield, J. E. Hill, A. G. Kessel, and M. D. Drew. 2012. The effect of increasing inclusion rates of soybean, pea and canola meals and their protein concentrates on the growth of rainbow trout: Concepts in diet formulation and experimental design for ingredient evaluation. *J. Aqua.* 344–349:90–99. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.02.018.

Collins, S. A., G. S. Mansfield, A. R. Desai, A. G. Van Kessel, J. E. Hill, and M. D. Drew. 2013. Structural equation modeling of antinutrients in rainbow trout diets and their impact on feed intake and growth. *J. Aqua.* 416–417:219–227. doi:10.1016/j.aquaculture.2013.03.006.

Curl, C. L., K. R. Price, and G. R. Fenwick. 1985. The quantitative estimation of saponin in pea (*Pisum sativum* L.) and soya (*Glycine max*). *Food Chem.* 18:241–250.

Cruz-Suarez L., Ricque-Marie D., Tapia-Salazar M., McCallum I. and D. Hickling. 2001. Assessments of differently processed feed pea (*Pisum sativum*) meals and canola meal (*Brassica* sp.) in diets for blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*). *Aquaculture.* 196:87–doi:10.1016/S0044-8486(00)00572-x

Davies, S. J., and A. Gouveia. 2010. Response of common carp fry fed diets containing a pea seed meal (*Pisum sativum*) subjected to different thermal processing methods. *Aquaculture.* 305:117–123. doi:10.1016/j.aquaculture.2010.04.021.

Davis D.A., Arnold C.R. and I. McCallum. 2002. Nutritional value of feed peas (*Pisum sativum*) in practical diet formulations for *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultur. Nut.* 8:87–94. doi:10.1046/j.1365-2095.2002.00194.x

Djeziri, M., L. Nouri, and M. Kacher. 2017. An investigation on the effects of different diets on the growth performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linne 1758). *Iran. J. Fish. Sci.* 19:136–150. doi:10.22092/ijfs.2019.118813.

Fredrikson, M., P. Biot, M. L. Alminger, N. G. Carlsson, and A. S. Sandberg. 2001. Production process for high-quality pea-protein isolate with low content of oligosaccharides and phytate. *J. Agric. Food Chem.* 49:1208–1212. doi:10.1021/jf000708x.

Fuertes, J., J. Celada, J. Carral, M. Saez-Royuela, and A. Gonzalez-Rodriguez. 2013. Replacement of fish meal by pea protein concentrate in practical diets for juvenile crayfish (*Pacifastascus leniusculus* Dana, Astacidae) from the onset of exogenous feeding. *J. Aqua.* 388–391:159–164. doi:10.1016/j.aquaculture.2013.01.028.

Ganzon-Naret, E. 2018. Effects of different feeding rates of dehulled green peas on growth, survival and feed utilization of Asian sea bass juveniles, *Lates calcarifer*. *ABAH Bioflux.* 10:85–92.

Gatta, D., C. Russo, L. Giuliotti, C. Mannari, P. Picciarelli, L. Lombardi, L. Giovannini, N. Ceccarelli, and L. Mariotti. 2013. Influence of partial replacement of soya bean meal by faba beans or peas in heavy pigs' diet on meat quality, residual anti-nutritional factors and phytoestrogen content. *Arch. Anim. Nutr.* 67:235–247. doi:10.1080/1745039X.2013.801137.

Gouveia, A., and S. Davies. 2000. Inclusion of an extruded dehulled pea seed meal in diets for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *J. Aqua.* 182:183–193.



Kraugerud, O., H. Jorgensen, and B. Svihus. 2011. Physical properties of extruded fish feed with inclusion of different plant (legumes, oilseeds, or cereals) meals. *Anim. Feed Sci. Technol.* 163:244–254. doi:10.1016/j.anifeedsci.2010.11.010.

Nikolopoulou, D., K. Grigorakis, M. Stasini, M. Alexi, and K. Iliadis. 2006. Differences in chemical composition of field pea (*Pisum sativum*) cultivars: Effects of cultivation area and year. *Food Chem.* 103:847–852. doi:10.1016/j.foodchem.2006.09.035.

Øverland, M., M. Sorensen, T. Storebakken, M. Penn, A. Krogdahl, and A. Skrede. 2009. Pea protein concentrate substituting fish meal or soybean meal in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) – Effect on growth performance, nutrient digestibility, carcass composition, gut health, and physical feed quality. *J. Aqua.* 288:305–311. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.12.012.

Penn, M., E. Bendiksen, P. Campbell, and A. Krogdahl. 2011. High level of dietary pea protein concentrate induces enteropathy in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *J. Aqua.* 310:267–273. doi:10.1016/j.aquaculture.2010.10.040.

Pfeffer, E., S. Kinzinger, and M. Rodehutschord. 1995. Influence of the proportion of poultry slaughter by-products and of untreated or hydrothermally treated legume seeds in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), on apparent digestibilities of their energy and organic compounds. *Aquacult. Nutr.* 1:111–117. doi:10.1111/j.1365-2095.1995.tb00026.x.

Roy, L., Bordinhon, A., Sookying, D., Davis, D.A., Brown, T.W., and G. Whitis. 2009. Demonstration of alternative feeds for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters of west Alabama. *Aquacultur. Res.* 40:496–503. doi:10.1111/j.1365-2109.2008.02124.x

Song, M., C. Shi, S. Lin, Y. Chen, H. Chen, H. Shen, and L. Luo. 2018. Effect of starch sources on growth, hepatic glucose metabolism and antioxidant capacity in juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *J. Aqua.* 490:355–361. doi:10.1016/j.aquaculture.2018.03.002.

Wang, N., and J. Daun. 2004. Effect of variety and crude protein content on nutrients and certain antinutrients in field peas (*Pisum sativum*). *J. Sci. Food Agric.* 84:1021–1029. doi: 10.1002/jsfa.1742.

8. SUSTAINABILITY OF FEEDING PEAS

Jensen, E. S., M. B. Peoples, R. M. Boddey, P. M. Gresshoff, H. Hauggaard-Nielsen, B. J. R. Alves, and M. J. Morrison. 2012. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32:329–364. doi:10.1007/s13593-011-0056-7.

Köpke, U., and T. Nemecek. 2010. Ecological services of faba bean. *Field Crop Res.* 115:217–233. doi:10.1016/j.fcr.2009.10.012

MacWilliams, S., D. Parkera, C. P. F. Marinangelib, and D. Trémorinb. 2018. A meta-analysis approach to examining the greenhouse gas implications of including dry peas (*Pisum sativum* L.) and lentils (*Lens culinaris* M.) in crop rotations in western Canada. *Agric. Sys.* 166:101–110. doi:10.1016/j.



www.pulsecanada.com
920-220 Portage Ave.
Winnipeg, MB
Canada R3C 0A5

