卡诺拉菜粕
在奶牛和其他反刍动物日粮的价值

加拿大油菜籽协会 (2023)

卡诺拉菜粕
在反刍动物日粮的配合比例

日粮或阶段	配合比例
犊牛断奶前	20%, 无调味剂
犊牛断奶后	可达 35%, 补充调味剂
犊牛断奶过渡期	无高限
小母牛发育生长期	
奶牛围产期	
奶牛泌乳期	
肉牛生长期	
肉牛育肥期	
山羊泌乳期	
产羔及羔羊生长期	

目录

CONTENTS

奶牛 2

- **卡诺拉菜粕应用** 2
- **卡诺拉菜粕与盈利能力** 3
- **卡诺拉菜粕日粮减少奶牛温室气体排放** 4
- **卡诺拉菜粕适口性** 6
- **卡诺拉菜粕作为蛋白质饲料的价值** 7
  - 氨基酸组成 7
  - 过瘤胃蛋白 8
  - 瘤胃微生物蛋白 9
  - 能量 10
  - 脂肪酸 11
  - 微量营养素 13
    - 磷 13
    - 碘 13
    - 日粮阴阳离子差 14
    - 抗氧化剂 14
- **卡诺拉菜粕饲喂泌乳期奶牛** 15
  - 荟萃分析 15
  - 泌乳早期 16
  - 泌乳中期 17
- **卡诺拉菜粕饲喂生长期后备牛** 19
  - 断奶前犊牛 19
  - 断奶过渡期犊牛 21
  - 卡诺拉菜粕与肠道发育和健康 21
  - 生长期小母牛 22
  - 中国的饲养试验 22
- **纯压榨卡诺拉菜粕饲喂泌乳奶牛** 23
- **卡诺拉油菜籽饲喂奶牛** 25

肉牛 27

小反刍动物 28

- 绵羊 28
- 山羊 28

卡诺拉菜粕应用

2021 年，加拿大油菜籽协会委托市场调查机构 broadhead，经由 Farm Journal 发出调查问卷，匿名调查显示，营养师对饲料配方最重要的考量首先是盈利能力，其次是环境可持续性。

卡诺拉菜粕已成为奶牛日粮常用的饲料原料。营养师发现，配合卡诺拉菜粕很容易平衡日粮氨基酸，并降低粗蛋白水平。最近的研究表明，与其他植物性蛋白质饲料比较，卡诺拉菜粕或芥花油饲喂奶牛能减少温室气体 (GHG) 排放。

卡诺拉菜粕与盈利能力

尽管大学的研究性试验并不经常观测投入产出，但一些现场试验表明卡诺拉菜粕有助于改善盈利能力。威斯康辛的一个现场试验（表 1），泌乳中期 1,295 头泌乳奶牛每头每天 3.4 公斤卡诺拉菜粕（干物质采食量），生产数据表明卡诺拉菜粕增加了产奶量并降低了饲料成本，显著改善了投入产出 (Faldet, 2018)。

生产性能	对照期	试验期
泌乳奶牛数	1,295	1,295
饲料成本 / 天，美元	6.25	6.22
产奶量，公斤 / 头 / 天	41.91	43.95
乳脂率，%	3.86	3.92
乳蛋白，%	3.19	3.29
乳脂，公斤 / 头 / 天	1.67	1.79
乳蛋白，公斤 / 头 / 天	1.43	1.49
3.5% 脂肪校正奶，公斤 / 头 / 天	46.32	49.45
能量校正奶，公斤 / 头 / 天	46.41	49.27

表 1. 威斯康辛牧场饲养试验

加利福尼亚州一项饲养试验，566 头泌乳早期奶牛从第 3 周到 23 周的生产数据表明，卡诺拉菜粕以较低的饲料成本支持更高的产奶量 (Swanepoel et al., 2020)。卡诺拉菜粕是加利福尼亚牧场的主要蛋白质饲料，该试验对照组以卡诺拉菜粕为蛋白质饲料，试验组用豆粕替代日粮中的卡诺拉菜粕，其中豆粕日粮还要补充蛋氨酸（表 2）。

配比 / 生产性能，天	日粮		
	卡诺拉菜粕	豆粕	豆粕 + 蛋氨酸
卡诺拉菜粕配比[1]，% 干基	14.3	6.6	6.6
豆粕配比[1]，% 干基	0	6.6	6.6
产奶量，公斤	51.31	49.55	49.93
乳脂，公斤	1.78	1.71	1.75
乳蛋白，公斤	1.45	1.38	1.44
干物质采食量，公斤	28.5	28.2	28.3
第一次配种受胎率，%	48.9	44.7	48.5
1st + 2nd 配种受胎率，%	68.9	64.2	67.4

[1] 卡诺拉菜粕 440 美元 / 吨，豆粕 550 美元 / 吨。

表 2. 加利福尼亚牧场饲养试验

表 2 数据显示，豆粕替代卡诺拉菜粕，即使补充了过瘤胃蛋氨酸也导致生产性能下降，但对奶牛健康状况和淘汰率没有明显影响，按当时市场价格核算，卡诺拉菜粕日粮比豆粕及豆粕 + 过瘤胃蛋氨酸日粮的成本分别低 5 美分和 8 美分 / 头 / 天。

卡诺拉菜粕日粮减少奶牛温室气体排放

甲烷和一氧化二氮是畜牧生产中最重要的两种温室气体，已多次证明卡诺拉菜粕有助于荷尔斯坦奶牛减少甲烷排放，卡诺拉菜粕日粮能以简单经济的方式减少肠道甲烷和尿液一氧化二氮的排放量。

肠道甲烷产出可以多种方式表达，可以每头奶牛每天的排放量核计，但受体型大小（如娟珊牛和荷尔斯坦牛）、年龄、胎次及产奶性能的影响。也可以单位采食量衡量甲烷产出，这种方法在设定条件下分析总能量损失很有用，称为甲烷产出率。也用生产单位牛奶或牛肉所排出的甲烷衡量甲烷强度。

表 3 列举的试验结果是用卡诺拉菜粕替代娟珊牛日粮中的豆粕，也是唯一一个以娟珊牛为研究对象的饲养试验，采用间接测热法，日粮配比 10.1% 卡诺拉菜粕并没有减少甲烷产出 (Reynolds et al., 2019)，但能量校正奶平均产量每头每天增加了 1 公斤，以每头每天甲烷排放量、甲烷产出率和甲烷强度标识，分别减少了 5.0%、7.5% 和 8.6%。

	蛋白质饲料 [1]			甲烷产出		
参考文献 [2]	来源	配比，% 干基	ECM[3], 公斤	克 / 天	克 / 公斤干物质采食量	克 / 公斤 ECM
1	SBM	17.0	44.0	489	19.0	11.1
	CM	24.0	46.2	461	16.6	10.0
2	SBM	15.0	29.4	461	24.1	17.8
	CM	20.8	30.7	456	22.5	15.8
3	SBM	10.2	32.0	442	17.6	13.8
	CM	13.0	33.1	404	15.7	12.2
4	SBM	13.6	40.3	414	17.0	10.4
	CM	17.1	41.1	396	15.0	9.5
5	SBM	14.5	55.4	538	20.3	9.7
	CM	19.4	55.4	466	18.0	8.4
6	SBM	13.7	31.0	335	19.1	10.8
	CM	10.1	31.7	360	20.5	11.4

表 3. 卡诺拉菜粕作为主要蛋白质饲料替代豆粕对甲烷产出的影响

- [1] SBM = 机榨浸提豆粕，CM = 机榨浸提卡诺拉菜粕；
- [2] 1-Benchaar et al., 2021; 2-Gidlund et al., 2015; 3-Holtshausen et al., 2021; 4-Lage et al., 2021; 5-Moore et al., 2016; 6-Reynolds et al., 2019；
- [3] ECM = 能量校正奶。

很多因素会影响卡诺拉菜粕日粮减少肠道甲烷气体排放的程度，比如草料来源、草料与精料的比例等，卡诺拉菜粕配合比例也是因素之一。粗蛋白16%的日粮，卡诺拉菜粕配合比例在0-24%，表4显示甲烷产出随卡诺拉菜粕配合比例增加而降低(Benchaar et al., 2021)。

	卡诺拉菜粕配合比例，% 干基			
变量	0	8	16	24
生产性能				
干物质采食量，公斤	25.8	26.9	27.3	27.7
能量校正奶，公斤	44.0	45.0	45.6	46.2
甲烷产出				
克 / 天	489	475	463	461
克 / 公斤干物质采食量	18.9	17.8	17.1	16.8
克 / 公斤能量校正奶	12.5	12.0	11.6	11.3

[1] Benchaar et al., 2021

表 4. 日粮卡诺拉菜粕配合比例与甲烷产出[1]

干奶牛和小母牛阶段研究数据不多，但从肉牛和体外试验数据可做出一些推论。一项生长育肥期试验以卡诺拉菜粕替代豆粕，甲烷产出减少了27%(Elshareef et al., 2020)，体外发酵结果显示在不同饲养条件下，卡诺拉菜粕减少了甲烷产出 (Paula, et al., 2017; Ramirez-Bribiesca et al., 2018; Soliva et al., 2008)。

卡诺拉菜粕减少的部分肠道甲烷与其脂肪酸组成有关，因为卡诺拉菜粕的脂肪富集油酸，油酸是单不饱和脂肪酸。脂肪以三种作用方式减少肠道甲烷：直接作用于甲烷菌和原生菌，充当氢离子的储存库，供给高浓度的能量；不饱和脂肪酸粘附原生菌细胞膜，抑制原生菌将氢离子转运给甲烷菌(Kobayashi, 2010)；不饱和脂肪酸的生物氢化可能利用部分氢离子，导致更少的氢离子与碳结合产生甲烷。一项荟萃分析显示，奶牛日粮脂肪增加1%，甲烷产出减少2.2%(Eugene et al., 2008)；肉牛日粮脂肪增加1%，甲烷产出减少5.6% (Beauchemin et al., 2008)。

卡诺拉菜粕日粮降低甲烷产出部分与配方中的脂质有关，卡诺拉菜粕日粮配合芥花油、亚麻籽油或葵花籽油都能降低甲烷的产出 (Beauchemin et al., 2009)，卡诺拉菜粕在瘤胃发酵产生更多丙酸，导致用于合成甲烷的碳更少，研究人员发现慢降解蛋白与甲烷产出存在高度负相关，卡诺拉菜粕慢降解蛋白与甲烷产出相关系数为 -0.99 ，日粮粗脂肪与甲烷产出的相关系数为 -0.80 (Ramirez-Bribiesca et al., 2018)。丹宁酸同样可以减少甲烷产出，其效果与日粮粗脂肪叠加 (Williams et al., 2020)。卡诺拉菜粕中的黑色种皮含有单宁酸。

试验证实卡诺拉菜粕降低了尿液一氧化二氮浓度。两个荟萃分析比较了卡诺拉菜粕与其他植物性蛋白饲料的吸收效率，卡诺拉菜粕蛋白吸收效率高，血液尿素氮低，排出的尿素氮迅速转化为氨气，间接地减少一氧化二氮排入大气 (Martineau et al., 2013; Martineau et al., 2019)。表5显示，随日粮卡诺拉菜粕配比增加，尿素氮排出减少。也有研究发现，卡诺拉菜粕日粮配比芥花油，芥花油配合比例并未改变一氧化二氮的产出 (Hristov et al., 2011)。

	卡诺拉菜粕配比，% 干基			
	0	8	16	24
氮摄入，克 / 天	679	700	707	718
奶氮，克 / 天	210	213	218	222
尿氮，克 / 天	35.1	33.4	31.7	31.4
尿氮，% 氮摄入	5.1	4.8	4.5	4.3

[1] Hassanat et al., 2020

表 5. 日粮卡诺拉菜粕配比与尿氮排泄[1]

卡诺拉菜粕适口性

卡诺拉菜粕对成年反刍动物适口性很好，近来许多试验用卡诺拉菜粕替代豆粕或玉米酒糟，都观察到奶牛采食量得以维持或增加。一个试验采用拉丁方设计 (Benchaar et al., 2021)，奶牛日粮配比 0、8%、16% 或 24% 的卡诺拉菜粕，逐渐全部替代豆粕，随卡诺拉菜粕配比增加，干物质采食量线性增加，产奶量也随之增加 (表 6)。日粮配比 11.7% 的卡诺拉菜粕以替代 8.7% 的豆粕，观察到干物质采食量增加了 0.5 公斤 / 头 / 天 (Broderick and Faciola, 2014)。配比 13.7% 豆粕和 20.8% 卡诺拉菜粕的两种日粮，干物质采食量分别为 23.6 和 24.0 公斤 / 头 / 天 (Maxin et al., 2013a)。高产奶牛配方高达 20% 的卡诺拉菜粕替换高蛋白玉米酒糟，采食量并未减少 (Swanepoel et al., 2014)。泌乳早期的 3 个饲养试验用卡诺拉菜粕替代豆粕，都观察到干物质采食量增加了 1 公斤 / 天 (Moore and Kalscheur, 2016; Gauthier et al., 2019; Kuehnl and Kalscheur, 2021)。机榨浸提菜粕比纯压榨菜粕的适口性好，在北美市场的供应更为普遍，也更为持续稳定 (Heim and Krebs, 2020)。

	日粮			
卡诺拉菜粕配比 , %	0	7.89	15.8	23.7
豆粕配比 , %	17.0	11.3	5.65	0
干物质采食量 , 公斤 / 天	25.8	26.9	27.3	27.7
能量校正奶 , 公斤 / 天	44.0	45.0	45.6	46.2

[1] Benchaar et al., 2021

表 6. 日粮卡诺拉菜粕配比与干物质采食量 [1]

卡诺拉菜粕也是架子牛适口性很好的蛋白质饲料。架子牛日粮干物质 15% 或 30% 卡诺拉菜粕替代大麦，采食量增加 (Nair et al., 2014)；在后续的育成期，占日粮干物质 10% 或 20% 的卡诺拉菜粕增加了采食量 (Nair et al., 2015)。对肉牛而言，育成期日粮配比 10% 卡诺拉菜粕，其采食量高于玉米酒糟或小麦酒糟日粮 (Li et al., 2013)，用卡诺拉菜粕替代育成期或育肥期日粮 30% 的大麦，其采食量没有下降，无论机榨浸提卡诺拉菜粕或纯压榨卡诺拉菜粕，其结果类似 (He et al., 2013)。

卡诺拉菜粕作为蛋白质饲料的价值

氨基酸组成

鉴于卡诺拉菜粕理想的氨基酸组成，被认为是植物蛋白饲料的明星。25 年前，科学家就证明卡诺拉菜粕的氨基酸组成能满足奶牛的产奶需要 (表 7)，比其他植物蛋白饲料更能补足瘤胃微生物蛋白 (Shingoethe, 1996)。最近的研究结果也支持之前的发现，该研究小组持续研究卡诺拉菜粕氨基酸对泌乳早期奶牛的影响，证明卡诺拉菜粕氨基酸的利用效率更高 (Kuehnl and Kalscheur, 2022)。

蛋白质饲料	评分	限制性氨基酸		
		第一	第二	第三
瘤胃微生物蛋白	0.78	组氨酸	亮氨酸	缬氨酸
鱼粉	0.75	亮氨酸	色氨酸	异亮氨酸
卡诺拉菜粕	0.68	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸
棉籽粕	0.46	蛋氨酸	异亮氨酸	赖氨酸
豆粕	0.46	蛋氨酸	缬氨酸	异亮氨酸
葵花粕	0.46	赖氨酸	亮氨酸	蛋氨酸
肉骨粉	0.43	色氨酸	异亮氨酸	蛋氨酸
酒糟	0.40	赖氨酸	蛋氨酸	组氨酸
玉米酒糟	0.32	赖氨酸	色氨酸	蛋氨酸
玉米蛋白粉	0.21	赖氨酸	色氨酸	异亮氨酸
羽毛粉	0.19	组氨酸	蛋氨酸	赖氨酸

[1] Shingoethe, 1996

表 7. 蛋白质饲料乳蛋白评分 [1](1.00= 满分)

自 2011 年到 2014 年，卡诺拉油菜籽协会从加拿大各榨油厂收集卡诺拉菜粕样品，康奈尔大学采用罗氏法 (Ross et al., 2013) 测定了卡诺拉菜粕的氨基酸组成及其在过瘤胃蛋白所占的比例 (Ross, 2015)，系统检测结果见表 8。

氨基酸	% 干基		% 粗蛋白	
	卡诺拉菜粕	过瘤胃蛋白	卡诺拉菜粕	过瘤胃蛋白
精氨酸	2.17	2.23	6.03	6.19
组氨酸	0.93	0.91	2.56	2.53
异亮氨酸	1.24	1.28	3.44	3.56
亮氨酸	2.52	2.68	7.00	7.44
赖氨酸	1.84	1.76	5.11	4.89
蛋氨酸	1.27	1.55	3.53	4.31
苯丙氨酸	1.44	1.49	4.00	4.14
苏氨酸	1.47	1.51	4.09	4.19
色氨酸	0.48	0.51	1.33	1.42
缬氨酸	1.44	1.54	4.00	4.28

[1] Ross et al., 2015

表 8. 卡诺拉菜粕氨基酸组成及过瘤胃氨基酸成分 – 康奈尔大学罗氏测定法 [1]

过瘤胃蛋白

卡诺拉菜粕氨基酸组成对反刍动物尤为重要，过瘤胃蛋白的氨基酸成分也是如此。若以过瘤胃蛋白占粗蛋白的比例核计，卡诺拉菜粕的过瘤胃蛋白约占粗蛋白的 50%(表 9)，比机榨浸提豆粕的过瘤胃蛋白占比高。

参考文献	卡诺拉菜粕	豆粕	卡诺拉菜粕 / 豆粕
Broderick et al., 2016	46.3	30.5	1.51
Hedqvist and Uden, 2006	56.3	27.0	2.07
Jayasinghe et al., 2014	42.8	31.0	1.38
Maxin et al., 2013	52.5	41.5	1.27
Ross, 2015	53.2	45.2	1.18
Tylutki et al., 2008	41.8	38.3	1.09

表 9. 不同方法测定卡诺拉菜粕和豆粕过瘤胃蛋白占粗蛋白的比例 , %[1]

许多饲料数据库关于卡诺拉菜粕过瘤胃蛋白的价值有待更新。过去一直采用原位尼龙袋法测定饲料瘤胃非降解蛋白 (RUP) 和瘤胃降解蛋白 (RDP)，这种方法的疏漏在于假定可溶性蛋白及变成可溶性蛋白而脱离袋膜的部分被瘤胃微生物降解，其氨基酸不能被宿主动物所利用，模糊了蛋白溶解度和降解度的概念，并将之同等对待，以至于新版 NASEM (2021) 也没有更新这个观念，饲料蛋白质分配的错误阻碍了营养师估算瘤胃微生物生长的能力，以及估算饲料和微生物蛋白进入肠道的氨基酸。

可溶性蛋白质在瘤胃的降解率是可变的，长期以来也一直被认为是可变的。蛋白质在瘤胃降解会释放氨氮，体外条件下氨、肽和氨基酸都可累积，一些可溶性蛋白质需要打破其二级或三级结构方可水解，如白蛋白或免疫球蛋白具双硫键，或经化学处理有人工交联的蛋白质比排列较少的蛋白质降解更慢 (Broderick et al., 1991)。

富有双硫键的蛋白质可溶，在瘤胃很难降解 (Wallace, 1983; McNabb et al., 1994)。卡诺拉菜粕两种主要的蛋白质分别是菜籽白蛋白和十字花科球蛋白 (Perera et al., 2016)，在一系列条件下，这两种蛋白都可变成可溶性蛋白 (Chmielewska et al., 2020)，卡诺拉菜粕的菜籽蛋白含有双硫键，很可能在瘤胃变成可溶性蛋白，这部分可溶性蛋白比其他常见植物蛋白的降解率低。

植物蛋白饲料	可溶蛋白 / 粗蛋白 , %	降解速率 , 降解蛋白 %/ 小时
卡诺拉菜粕 (普通菜粕)	20.4	19
亚麻籽粕	58.6	18
羽扇豆	80.2	34
豌豆	77.8	39
豆粕	16.9	46
小麦酒糟	24.3	62

[1] Hedqvist and Udén, 2008

表 10. 植物饲料可溶性蛋白瘤胃降解速率 [1]

表 10 列举了可溶蛋白在瘤胃的降解速率，卡诺拉菜粕可溶蛋白比豆粕或小麦酒糟可溶蛋白在瘤胃降解的速率慢得多，意味着更多的卡诺拉菜粕可溶蛋白随胃液流入肠道，其流转速率起码比固体食糜快两倍 (Seo et al., 2006)，这一事实也许可以矫正原位分析法悬浮于瘤胃变成可溶蛋白的模糊表述。

瘤胃微生物蛋白

研究证实，卡诺拉菜粕与豆粕瘤胃微生物蛋白产出相当。采用直接测定真胃氮流量方法，卡诺拉菜粕替代豆粕后，瘤胃微生物蛋白产量与替代前没有差别(Brito et al., 2007; Paula et al., 2018)；采用尿嘧啶衍生物估计瘤胃蛋白产量的方法，两个饲养试验都证明卡诺拉菜粕和豆粕没有差别(Lage et al., 2021; Pereira et al., 2020)；Swanepoel 等(2021) 沿用此法，测得卡诺拉菜粕改善了瘤胃环境，促进了瘤胃微生物生长。Paula 等(2017) 采用双流发酵法，再次确认豆粕与卡诺拉菜粕的瘤胃微生物蛋白产量没有差异。

另外一个试验用卡诺拉菜粕替代大麦，随卡诺拉菜粕配比增加而瘤胃微生物生长减缓。增加热处理卡诺拉菜粕配比导致瘤胃逸出蛋白更多，瘤胃微生物蛋白更少(Krizsan et al., 2017)。然而，热处理卡诺拉菜粕取代大麦，改变了支持瘤胃微生物生长所需的可用淀粉。

能量

与其他精饲料一样，卡诺拉菜粕也是很好的能量饲料，为微生物生长供应养分，支持动物生产。

过去一直低估卡诺拉菜粕的能量 (NRC, 2001; NRC, 2015)，在许多出版物中仍然存在错误，几个流行的配方软件都用木质素折扣细胞壁的消化率。例如 2001 版 NRC 估计的无效中性洗剂纤维 (NDF) 为 65%，有效中性洗剂纤维为 35%，依据流过率估计的实际可消化成分更少。依据改良的方法测定不可消化 NDF 的结果显示，卡诺拉菜粕无效 NDF 只占总 NDF 的 32%，如果在瘤胃消化 120 小时，可消化细胞壁达 68% (Cotanch et al., 2014)。潜在的可消化细胞壁在消化完成之前就离开了瘤胃，实际消化率比这个估计值低。新版 NASEM (2021) 采用 48 小时 NDF 消化率测定，其结果更准确、客观和真实。

基于加拿大境内 12 家榨油厂连续 4 年收集的 144 个样品，采用瘤胃 88 小时 NDF 消化率测定，卡诺拉菜粕 NDF 消化率达 80.2%，并估计 3 倍维持采食量时 NDF 消化率为 60.2% (Paula et al., 2017)。后续研究发现，在 3 倍维持采食量情况下，计算的卡诺拉菜粕泌乳净能 (NE-L) 是 1.87 兆卡 / 公斤 (Arce-Cordero et al., 2021)。

这些结果佐证了早期的一些研究，证实泌乳奶牛实际上可以消化大约一半的 NDF(Mustafa et al., 1996, 1997)，绵羊 (Hentz et al., 2012) 和肉牛 (Patterson et al., 1999a) 消化的 NDF 比例更高。

育肥场的试验证明，机榨卡诺拉菜粕用于肉牛维持和增重的净能与大麦相同 (Nair et al., 2015)，可以取代配方中 15% 和 30% 的大麦。一个试验对比了酒糟、高蛋白酒糟、豆粕及卡诺拉菜粕四种蛋白质饲料饲喂奶牛的效果，单位干物质的能量校正奶和体况评分没有变化 (Christen et al., 2010)。加州牧场的饲养试验配比 20% 卡诺拉菜粕并取代高蛋白玉米酒糟，也没有观察到干物质采食量和体况变化 (Swanepoel et al., 2014)。卡诺拉菜粕日粮的牛奶能量也高，说明卡诺拉菜粕的能量至少比高蛋白酒糟高。有关卡诺拉菜粕的能量测定结果列于表 11。

12
家榨油厂

144
个样品

88
小时 NDF 消化率测定

NDF 消化率达
80.2%

能量	卡诺拉加工工艺	
	机榨浸提	纯压榨
可消化养分 , %	68.2	74.6
消化能 , 兆卡 / 公斤	3.35	3.70
代谢能 , 兆卡 / 公斤	2.70	3.01
3 倍维持泌乳净能 , 兆卡 / 公斤	1.78	2.01
维持净能 , 兆卡 / 公斤	1.92	2.16
增重净能 , 兆卡 / 公斤	1.27	1.47

表 11. 机榨浸提和纯压榨卡诺拉菜粕能量平均值

脂肪酸

卡诺拉菜粕可能比其他油籽粕的脂肪含量高，其脂肪主要是油酸 (C18:1)，一种单不饱和脂肪酸，这种脂肪也提高了卡诺拉菜粕的能量水平。

不饱和脂肪酸在瘤胃可能使生物氢化的中间体累积，干扰乳脂合成，降低乳脂率。油酸是单不饱和脂肪酸，与其他有两个或两个以上不饱和键的脂肪酸相比，不太可能产生导致乳脂率下降的氢化中间体。一个荟萃分析比较了油酸 (C18:1)、亚油酸 (C18:2) 和亚麻酸 (C18:3) 对乳脂率的影响，亚油酸 (C18:2) 降低乳脂率的可能性是油酸和亚麻酸的两倍 (Dorea and Armentano, 2017)。与亚油酸含量高的籽粕比较，油酸含量高的籽粕可能会增加牛奶乳脂率和乳脂量，以及牛奶中油酸的浓度 (Lopes et al., 2017)。

泌乳奶牛日粮分别大量添加油酸、亚油酸和亚麻酸，添加量达干物质 5%，考察三种脂肪酸对乳脂率和乳脂量的影响，采食 5% 油酸或亚麻酸的奶牛乳脂量由 1.14 降到 1.02 公斤 / 头 / 天，采食 5% 亚油酸的奶牛乳脂量由 1.14 降到 0.86 公斤 / 头 / 天 (He and Armentano, 2011)，后续的试验也证明亚油酸比油酸对乳脂量的影响更甚 (He et al., 2012)。为奶牛供应脂肪酸组成不同的试验日粮，但所添加脂肪的来源、水平与实际饲喂情况相当，不同日粮对乳脂率和乳脂量的影响截然不同，高油酸日粮的乳脂量为 1.44 公斤 / 头 / 天，而高亚油酸日粮的乳脂量为 1.31 公斤 / 头 / 天，低脂肪对照组日粮的乳脂量为 1.41 公斤 / 头 / 天，表明油酸水平较高的日粮不会影响乳脂量 (Stoffel et al., 2015)。

此外，常见不饱和脂肪酸如油酸、亚油酸和亚麻酸会打破细胞膜稳定性，增加细胞膜通透性，干扰微生物代谢 (Yoon et al., 2018)，其影响随双键数目增加而显现 (C18:3> C18:2>C18:1)。也有一些数据反映随油酸增加养分瘤胃消化率提高，在泌乳后期奶牛日粮配比 6.5% 芥花油 (含 62% 油酸)，养分瘤胃消化率得以改善 (表 12)，包括干物质和中性洗剂纤维 (Prom and Lock, 2021)。

	处理	
	对照	芥花油
干物质采食量 , 公斤 / 天	14.0	14.5
脂肪酸摄入 , 克 / 天	244	1,154
	瘤胃消化率 , %	
干物质	42.3	45.1
有机质	45.5	48.5
粗蛋白	24.1	37.1
中性洗剂纤维	43.3	50.6
酸性洗剂纤维	34.7	44.2

表 12. 奶牛日粮添加芥花油对养分瘤胃消化率的影响 [1]

[1] Chilikani et al., 2004

已证明油酸的生物氢化速率低于更饱和的脂肪酸 (Baldin et al., 2018)，意味着更多的油酸能逸出瘤胃进入肠道，亲和并增益肠道环境，提高养分消化率 (Prom et al., 2021)。一项饲养试验对比两种不同脂肪酸组成的豆粕日粮对全消化道消化率的影响，一种豆粕日粮含亚油酸，另一种遗传改良的豆粕日粮含油酸，发现含油酸豆粕日粮的全消化道消化率比含亚油酸豆粕日粮高 (Lopes et al., 2017)，另一个实验将油酸注入真胃，也提高了养分消化率 (Prom et al., 2018)。

微量营养素

磷

卡诺拉菜粕富含磷，且大部分是植酸磷。与单胃动物不同，植酸磷适用于反刍动物，因为瘤胃中存在快速降解植酸盐的细菌植酸酶 (Spears, 2003)，事实证明植酸磷比非植酸磷更容易被反刍动物所利用。一个试验在奶牛日粮总磷有一半是植酸磷，磷的总体消化率为 49%，而植酸磷的消化率为 79% (Garikipati, 2004)。也有试验发现，10 周龄小牛对磷的消化率是 72%，其中 97% 的植酸磷可消化 (Skrivanova et al., 2004)。

碘

碘一直被作为矿物质添加于饲料，部分被用于对抗引发蹄病和乳腺炎的病原微生物，奶牛日粮中高浓度的碘也会流落到牛奶，所以人们对牛奶碘的浓度也很关注。

卡诺拉油菜或普通油菜等十字花科植物含有硫代葡萄糖苷，可减少甲状腺和乳腺对碘的吸收 (Flachowsky et al., 2014)，尽管现今卡诺拉菜粕的硫代葡萄糖苷极其微量，仍有研究显示这种蛋白质饲料摄入较多会降低牛奶碘的浓度 (Vesely et al., 2009; Troan et al., 2018)； 若在奶牛日粮配比 0、6、14 或 20% 纯压榨普通菜粕，日粮硫代葡萄糖苷 1.07 微摩尔 / 克，日粮中的碘分别有 25、19、13 和 10% 转移到牛奶中 (Troan et al., 2018)。若奶牛日粮配比 13.9% 卡诺拉菜粕 (表 13)，日粮碘的浓度浓度为 2.0mg/kg，其牛奶碘的浓度与日粮碘浓度 0.5mg/kg 无卡诺拉菜粕的牛奶碘浓度相当 (Weiss et al., 2015)，卡诺拉菜粕日粮血液碘的浓度较高，利于发挥碘的生物效能，也可保持牛奶碘的浓度在可接受的范围。

	日粮碘浓度，mg/kg 干基					
	0.5			2.0		
卡诺拉菜粕 , % 干基	0	3.9	13.9	0	3.9	13.9
血液碘浓度 , ug/L	99	142	148	175	251	320
牛奶碘浓度 , ug/L	358	289	169	733	524	408

[1] Weiss et al., 2015

表 13. 卡诺拉菜粕日粮对血液和牛奶碘浓度的影响 [1]

日粮阴阳离子差

日粮阴阳离子差 (DCAD) 可以计算日粮主要阴离子 (硫和氯) 与阳离子 (钠和钾) 的差别，两者分子量等值时，日粮呈中性。

最好在干奶期有过量的阴离子，这有利于降低产犊时乳热发生的概率。泌乳开始时血钙的突然流失必须通过大量吸收或动员骨骼钙来补充，阴阳离子负差的日粮被证明有助于骨骼钙释放，有助于维持血钙水平 (Wu et al., 2008; Zimpel et al., 2021)。

日粮阴离子或阳离子通常来源于饲料原料或矿物质，饲料原料通常含大量阳离子，为平衡离子差往往会添加阴离子盐，导致日粮适口性差，采食量下降。如表 14 所示，卡诺拉菜粕本身阴阳离子负差，有助于减少日粮对阴离子盐的需要。

饲料	阳离子		阴离子		
	钾	钠	氯	硫	离子差
卡诺拉菜粕	361	30	-11	-456	-76
玉米	107	9	-23	-63	31
玉米酒糟	281	130	-28	-275	109
豆粕	775	13	-155	-244	389
苜蓿青贮	775	13	-155	-188	445
大麦青贮	621	58	106	106	369
玉米青贮	307	4	-82	-88	142
牧草青贮	795	22	-181	-131	505

[1] Erdman and Iwaniuk, 2015

表 14. 常见饲料原料阳离子 (钾和钠) 与阴离子 (氯和硫) 差 [1], mEq/kg 干物质

抗氧化剂

氧化应激常见于过渡期和热应激期间，卡诺拉菜粕含有多种抗氧化剂，包括多酚 (Vuorela et al., 2004; Wanasundara et al., 1995)、维生素 E 和类胡罗卜素 (Loganes et al., 2016)，有助于减少氧化自由基及其伴随的细胞损伤。

卡诺拉菜粕饲喂奶牛

荟萃分析

自 2011 年以来，就卡诺拉菜粕与豆粕等其他植物蛋白饲料饲喂奶牛已有 5 个深度荟萃分析，尽管其研究目的和提取数据的方法各有不同，但所有调查都支持这样一个事实，即卡诺拉菜粕过瘤胃蛋白高、氨基酸组成很特别。

Huhtanen 等 (2011) 评估了 122 项研究的结果，在所有试验条件下，保持草料配比不变，日粮配比的蛋白质代替谷物，且蛋白质来源只有豆粕或卡诺拉菜粕。 分析显示，粗蛋白消耗每增加 1 公斤，卡诺拉菜粕和豆粕使牛奶产量分别增加 3.4 公斤和 2.1 公斤。 研究人员得出结论，与豆粕相比，卡诺拉菜粕的价值被低估了，这份报告的主要数据归纳列于表 15。

变量	卡诺拉菜粕	豆粕
干物质采食量 , 公斤 / 天	19.4	16.8
产奶量 , 公斤 / 天	27.2	23.6
能量校正奶产量 , 公斤 / 天	28.6	23.6

[1] Huhtanen et al., 2011

表 15. 荟萃分析结果 [1]

Martineau 等 (2013) 采用不同的数据提取方法，采信了 27 个公开发表的研究报告，评估了 88 个处理，比较卡诺拉菜粕等量替代其他植物饲料粗蛋白对奶牛生产的影响，卡诺拉菜粕平均饲喂量 2.3 公斤 / 头 / 天，产奶量增加了 1.4 公斤 / 头 / 天。

延续之前的研究分析，Martineau 等 (2014) 分析饲料蛋白质来源与血液氨基酸的响应，采信 10 个饲养试验和 21 个处理的数据，证明卡诺拉菜粕日粮增加了血液必需氨基酸浓度，降低了牛奶尿素氮水平。这些差异确实反映了卡诺拉菜粕氨基酸组成的重要性，因为它与泌乳奶牛的需求有关。 该报告的结论是卡诺拉菜粕提高了必需氨基酸的有效性。

变量	原始平均差
干物质采食量 , 公斤 / 天	0.22
产奶量 , 公斤 / 天	0.69
乳蛋白产量 , 公斤 / 天	0.02
牛奶尿素氮 , mg/dL	-0.98
牛奶尿素氮与氮摄入	0.22

[1] Moura et al., 2018

表 16. 荟萃分析结果 [1]

Moura 等 (2018) 收集了 37 篇研究报告的数据，评估卡诺拉菜粕替代其他植物蛋白的效果，对比各处理的不同效应，其结果归纳列于表 16，所列数值在统计意义上达到显著水平。

为纳入最新的研究数据，Martineau 等 (2019) 做了最后一次荟萃分析，比对奶牛日粮部分或全部粗蛋白来源于卡诺拉菜粕及与其他植物蛋白的饲养效果。有些数据显示，卡诺拉菜粕蛋白与其他非卡诺拉蛋白饲料混合能提高非卡诺拉蛋白饲料的价值，但不清楚非卡诺拉蛋白饲料能否提高卡诺拉菜粕的价值。这项综合研究表明，将其他植物蛋白与卡诺拉菜粕混合不会提高牛奶产量；该研究还表明，卡诺拉菜粕可以在日粮干物质配比达 19%，这是在整理数据时测试的最高配比，牛奶产量并未降低，对采食量也没有负面影响。

泌乳早期

直到最近才评估了卡诺拉菜粕在泌乳早期的效果。 自 2016 年以来，已有 4 项研究支持在泌乳早期奶牛日粮中使用卡诺拉菜粕 (表 17) 。 所有试验均表明，在泌乳早期饲喂卡诺拉菜粕的奶牛产奶量更高，卡诺拉菜粕和豆粕两种蛋白质的饲料效率相当，卡诺拉菜粕日粮有明显优势，其中有一个例外 (Moore and Kalscheur, 2016)。

		配合比例 , % 干物质		产奶量 , 公斤		ECM/DMI[1]	
试验 [2]	试验期 / 周	卡诺拉菜粕	豆粕	卡诺拉菜粕	豆粕	卡诺拉菜粕	豆粕
1	16	19.4	14.5	56.5	52.3	2.31	2.17
1	16	11.9	8.9	54.8	50.1	2.22	2.16
2	22	13.0	7.0	44.5	42.3	1.53	1.50
3[3]	22	14.3	6.3	51.3	49.6	1.79	1.73
3	22	14.3	6.3	51.3	49.9	1.79	1.77
4	16	16.5	12.1	52.8	50.9	2.18	2.13

表 17. 卡诺拉菜粕或豆粕日粮对泌乳早期产奶性能的影响

- [1] ECM/DMI= 能量校正奶 / 干物质采食量
- [2] 1: Moore and Kalscheur, 2016; 2: Gauthier et al., 2019; 3: Swanepoel et al., 2020; 4: Kuehnl and Kalscheur, 2021
- [3] 两个豆粕日粮都配比 6.5% 卡诺拉菜粕，第二个豆粕日粮还补充了蛋氨酸。

两个农场大群体饲养试验显示，卡诺拉菜粕和豆粕日粮的饲料效率相当，但饲喂卡诺拉菜粕日粮的奶牛体况损失更小 (Gauthier et al., 2019; Swanepoel et al., 2020)。

泌乳中期

表 18 和表 19 归类了卡诺拉菜粕与其他植物蛋白一对一饲养试验的结果，大部分试验只涉及豆粕（表 20），也有其他植物蛋白（表 21）。如表所示，大多数报告认为卡诺拉菜粕的产奶潜力比豆粕更好，最起码与其他替代性植物蛋白相当。

表 18. **豆粕或卡诺拉菜粕蛋白对产奶量的影响（公斤 / 头 / 天）**

	蛋白原料		差别
文献	卡诺拉菜粕	豆粕	
Benchaar et al., 2021	42.2	40.4	1.8
Brito and Broderick, 2007	41.1	40.0	1.1
Broderick et al., 2012	40.7	39.7	1.0
Broderick et al., 2015	39.5	38.5	1.0
Broderick and Faciola, 2014	38.8	38.2	0.6
Christen et al., 2010	31.7	31.7	0
Galindo et al., 2017	46.0	43.7	2.3
Gauthier et al., 2019	44.5	42.3	2.2
Gauthier et al., 2019	44.5	44.8	-0.3
Gidlund et al., 2015	30.2	29.5	0.7
Holtshausen et al., 2021	34.2	35.0	-0.8
Kuehnl and Kalscheur, 2021	52.8	50.9	1.9
Kuehnl and Kalscheur, 2022	44.3	41.4	2.9
Lage et al., 2021	43.8	41.1	2.7
Maxin et al., 2013	30.9	31.9	-1.0
Moore and Kalscheur, 2016	55.7	51.2	4.5
Paula et al., 2015	40.3	39.4	0.9
Paula et al., 2018	44.1	42.9	1.2
Paula et al., 2020	37.2	36.4	0.8
Sanchez-Duarte et al., 2019	38.2	37.5	0.7
Swanepoel et al., 2020	51.3	49.6	1.7
Swanepoel et al., 2020	51.3	49.9	1.4
Weiss et al., 2015	39.4	37.6	1.8

表 19. **卡诺拉菜粕或其他植物蛋白对产奶量的影响（公斤/头/天）**

文献	蛋白饲料		差别
	卡诺拉菜粕	棉籽粕	
Brito and Broderick, 2007	41.1	40.5	0.6
Maesoomi et al., 2006	28.0	27.0	1.0
	卡诺拉菜粕	玉米酒糟	
Acharya et al., 2015	34.9	35.5	-0.6
Christen et al., 2010	31.7	31.2	0.5
Maxin et al., 2013	30.9	32.2	-1.3
Mulrooney et al., 2009	35.2	34.3	0.9
Swanepoel et al., 2014	47.9	44.9	3.0
	卡诺拉菜粕	小麦酒糟	
Abeysekara and Mutsvangua, 2016	40.4	40.2	0.2
Chibisa et al., 2012	45.0	45.0	0
Maxin et al., 2013	30.9	30.8	0.1
Mutsvangwa et al., 2016	43.4	42.4	1.0
	卡诺拉菜粕	葵花粕	
Beauchemin et al., 2009	27.0	26.7	0.3
Vincent et al., 1990	26.7	25.1	1.6
	卡诺拉菜粕	啤酒糟	
Moate et al., 2011	23.4	22.3	1.1
	卡诺拉菜粕	亚麻籽粕	
Beauchemin et al., 2009	27.0	26.8	0.2
	卡诺拉菜粕	普通菜粕	
Hristov et al., 2011	47.1	45.0	2.1
	卡诺拉菜粕	纯压榨豆粕	
Lage et al., 2021	43.8	42.6	1.2

卡诺拉菜粕饲喂生长期后备牛

断奶前犊牛

尽管卡诺拉菜粕的养分价值适合犊牛，但早期的研究一般不太可能在小牛日粮中配比卡诺拉菜粕，因为高硫代葡萄糖苷水平会影响采食量。Ravichandiran 等 (2008) 考察了不同水平硫代葡萄糖苷卡诺拉菜粕和普通籽粕对 5 月龄小牛的影响。饲喂低于 20 微摩尔 / 克硫代葡萄糖苷的卡诺拉菜粕与非卡诺拉菜粕日粮的采食量几乎相同，分别为 1.10 公斤和 1.08 公斤 / 天，而饲喂高硫代葡萄糖苷普通菜籽粕 (>100 微摩尔 / 克) 的小牛，其采食量仅 0.76 公斤 / 天。 值得注意的是，加拿大的卡诺拉菜粕以干物质计仅有 3.57 微摩尔 / 克硫代葡萄糖苷。

犊牛年龄可能是影响接受度的一个因素。在断奶前 (表 20) 和断奶后 (表 21) 对小牛做了两个类似的饲养试验，两者都注意到断奶前采食量减少的趋势 (表 20)，但断奶后采食量没有立即 减 少 (表 21)。 Miller-Cushon 等 (2014) 建议对开食料制粒，以避免小牛挑食。

	日粮		
Claypool et al., 1985	卡诺拉菜粕	棉籽粕	豆粕
蛋白质饲料 , % 干基	17.6	14.1	11.1
断奶前采食量 [1]，克 / 天	368	479	439
平均日增重 , 克 / 天	580	620	620
Hadam et al., 2016	卡诺拉菜粕	卡诺拉菜粕 / 豆粕	豆粕
蛋白质饲料 , % 干基	35.0	16.5	24.0
断奶前采食量 [2], 克 / 天	269	250	315
平均日增重 , 克 / 天	587	636	684

表 20. 卡诺拉菜粕用于断奶前犊牛料

- [1] 犊牛 8 周龄断奶；
- [2] 犊牛 5-7 周龄断奶，表中所列为 5 周龄前数据。

	日粮		
Claypool et al., 1985	卡诺拉菜粕	棉籽粕	豆粕
蛋白质饲料 , % 干基	17.6	14.1	11.1
断奶后采食量 [1], 克 / 天	-	-	-
平均日增重 , 克 / 天	890	890	910
Hadam et al., 2016	卡诺拉菜粕	卡诺拉菜粕 / 豆粕	豆粕
蛋白质饲料 , % 干基	35.0	16.5/12.5	24.0
断奶后采食量 [2], 克 / 天	2,001	1,964	2,003
平均日增重 , 克 / 天	734	745	798

表 21. 卡诺拉菜粕用于断奶后犊牛料

- [1] 犊牛在 8周龄断奶，试验期末 16周龄，犊牛群养未统计采食量；
- [2] 犊牛 5-7周龄断奶，表中所列为 5-8周龄数据。

Gorka 和 Penner(2020) 审核了一系列研究，其中添加甜味剂 (甘油或糖蜜) 对配比卡诺拉菜粕的犊牛开食料采食量有积极影响，研究人员建议将卡诺拉菜粕在犊牛料的配比限制在 20% 以下。在后续研究中，卡诺拉菜粕取代犊牛料中 0、15、30、45 或 60% 的豆粕，数据显示平均日增重或饲料效率在各处理间没有显著差异，卡诺拉菜粕在犊牛料中配比不超过 20.7%。作者认为卡诺拉菜粕可以替代犊牛料中高达 60% 的豆粕 (Burakowska et al., 2021)。

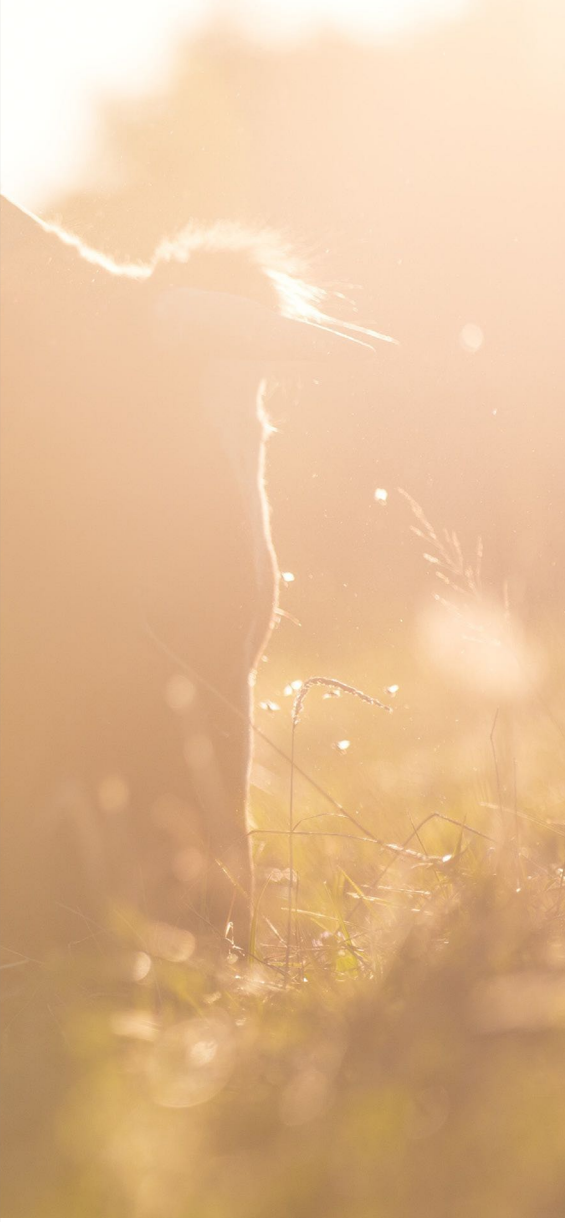
卡诺拉菜粕确实可以支持犊牛断奶前的最佳生长，前提是适口性良好。萨斯喀彻温大学最近的研究表明，可以用甜味剂或其他调味剂掩盖味道来克服厌食卡诺拉菜粕 (Gorka and Penner, 2020)，或者将卡诺拉菜粕配比限制在干物质的 20% 以下。Burkakowska 等 (2020) 发现，犊牛开食料配比 34% 卡诺拉菜粕并添加 5% 甘油时，采食量由 243 克 / 天增加到 338 克 / 天。当卡诺拉菜粕被用作犊牛料的主要蛋白质来源时，制粒也可以提高卡诺拉菜粕的接受度 (Burakowska et al., 2021b)，在犊牛 8-42 日龄配方配比 35% 卡诺拉菜粕并添加甜味剂，犊牛采食量也未减少 (Burakowska et. al., 2017)。还有一项研究 (Burakowska et al., 2021a) 显示，在不加糖日粮中配比 0-20.7% 卡诺拉菜粕，犊牛的生长速度、饲料效率、瘤胃发酵以及血糖和胰岛素水平没有差异 (表 22)。

变量	处理 (取代豆粕比例 , %)				
	0	15	30	45	60
卡诺拉菜粕配比 , % 干物质	0	5.2	10.4	15.7	20.7
豆粕 , % 干物质	28.4	24.1	19.8	15.7	11.4
平均日增重 , 公斤	0.91	0.93	0.90	0.87	0.86
饲料效率	0.54	0.54	0.53	0.53	0.55
瘤胃挥发性脂肪酸浓度 , mM	118	133	111	132	128
瘤胃氨浓度 , mg/dL	4.0	3.0	3.4	5.0	3.4
血液葡萄糖浓度 , mg/dL	62.7	61.1	61.8	58.8	61.8
血液胰岛素浓度 , μg/L	0.62	0.54	0.44	0.41	0.68

[1] Burakowska et al., 2021a

表 22. 卡诺拉菜粕在 8-62 日龄犊牛料的配比和效率 [1]

Melendez 等 (2020) 在犊牛开食料配合纯压榨卡诺拉菜粕和纯压榨亚麻籽粕，两种蛋白质饲料占日粮干物质 25%，从犊牛初生到 60 日龄，平均采食量 0.5 公斤 / 头 / 天，其他生长性能没有差别。



断奶过渡期犊牛

目前只有 3 个卡诺拉菜粕在犊牛断奶过渡期的饲养试验，当时都对卡诺拉菜粕配比几乎没有关注，表 23 归纳了这些试验结果。

文献	变量	豆粕	卡诺拉菜粕
Claypool et al., 1985	配比，% 干物质	11.1	17.6
	干物质采食量，克 / 天	-	-
	平均增重，克 / 天	910	890
Hadam et al., 2016	配比，% 干物质	24.0	35.0
	干物质采食量，克 / 天	2,003	2,001
	平均增重，克 / 天	796	734
Burakowska et al., 2021	配比，% 干物质	24.0	35.0
	干物质采食量，克 / 天	1,581	1,628
	平均增重，克 / 天	783	671

表 23. 犊牛断奶过渡期饲喂卡诺拉菜粕效果评估

卡诺拉菜粕与肠道发育和健康

在一项涉及美国 13 个州 104 个牧场的研究中，Urie 等 (2018) 检测到发病率和死亡率分别为 33.9% 和 5%，发病的个体约有一半与肠道消化有关。卡诺拉菜粕有助于改善犊牛肠道健康。

在萨斯喀彻温大学精心设计的饲养试验中， Burakowska 等 (2021b) 给小牛饲喂 24% 豆粕或 35% 卡诺拉菜粕等氮日粮，小牛在 52 日龄断奶，72 日龄屠宰，观察到瘤胃发育在两组等氮日粮间没有差异，若以组织脱落或分离衡量肠道损伤程度，饲喂卡诺拉菜粕的小牛其损伤指数较低。开食料配比卡诺拉菜粕增加了真胃和空肠组织重量 (Burakowska et al., 2021b)。

后续试验给犊牛日粮配比从 0 到 20.7% 的卡诺拉菜粕，随日粮卡诺拉菜粕配比增加，瘤胃乙酸水平有下降趋势，瘤胃丙酸浓度呈上升趋势。

一项纯压榨卡诺拉菜粕和纯压榨亚麻籽粕的饲养试验，发现饲喂卡诺拉菜粕的犊牛腹泻率 25%，其血浆触珠蛋白 (一种急性期蛋白) 水平也较低，而饲喂纯压榨亚麻籽粕的犊牛腹泻率为 45%(Melendez et al., 2020)。

生长期小母牛

卡诺拉菜粕在生长期小母牛和肉犊牛日粮配比不受限制。Anderson 和 Schoonmaker (2004) 将卡诺拉菜粕与豆类 (豌豆、鹰嘴豆和小扁豆) 作为断奶后犊牛的蛋白质，日粮粗蛋白为 16%，饲喂卡诺拉菜粕日粮的小牛增重略少 (1.67 比 1.89 公斤 / 天)，但配比 9.4% 卡诺拉菜粕日粮的饲料效率高 (4.1 比 3.8)。在一项奶犊牛研究中，Terre 和 Bach (2014) 评估了粗蛋白 18% 的开食料，其粗蛋白主要来源于卡诺拉菜粕或豆粕，数据显示两种开食料的采食量和增重率基本相当，研究人员认为断奶后日粮配比卡诺拉菜粕不需要添加调味剂。为保证消化率和氮存留不至于下降，玉米酒糟只能部分替代 12 月龄生长期小母牛日粮中的卡诺拉菜粕 (Suarez-Mena et al., 2015)。

与卡诺拉菜粕不同，豆粕含有高浓度的植物雌激素，可以模仿雌激素的作用而改变荷尔蒙周期 (Woclawek-Potocka et al., 2005; Cools et al., 2014)。 Gordon 等 (2012) 给 8-24 周龄小母牛分别饲喂卡诺拉菜粕或豆粕日粮，60 周龄配种并转喂普通日粮，生长期饲喂卡诺拉菜粕的小母牛妊娠率为 66.7%，而同期饲喂豆粕日粮的小母牛妊娠率仅为 41.7%。如果出现配种妊娠困难，植物雌激素含量低的蛋白质饲料，例如卡诺拉菜粕有替代优势。

中国的饲养试验

中国乳业一直创新和稳步发展，随之是对可靠蛋白质饲料的需求。有鉴于此，加拿大油菜籽协会于 2011 年在中国展开了多项示范试验，所有饲养试验都在管理良好的牧场进行，平均产奶量为 35 升，只有 1 个牧场例外，平均产奶量 25 升。表 24 归纳了试验结果，日粮中卡诺拉菜粕配合比例相当低，但卡诺拉菜粕取代高价蛋白质成分后，牛奶产量增加或保持不变。

地点	详情	产奶量变化 , 升
牧场 1	奶牛 352 头，交叉试验，直接替代豆粕，1.7 公斤 / 头 / 天	-0.2
牧场 2	奶牛 325 头，交叉试验，直接替代豆粕，1.0 公斤 / 头 / 天	+0.6
牧场 3	奶牛 320 头，交叉试验，直接替代豆粕， 0.7 公斤 / 头 / 天	+0.3
牧场 4	奶牛 1,700 头，生产水平均衡，直接替代豆粕，2.4 公斤 / 头 / 天	+1.0
牧场 5	奶牛 330 头，生产水平均衡，直接替代棉籽粕，1.7 公斤 / 头 / 天	+1.2

表 24. 卡诺拉菜粕取代其他蛋白质饲料示范试验 (中国)

纯压榨卡诺拉菜粕饲喂泌乳奶牛

反刍动物可用的饲料原料不多，纯压榨卡诺拉菜粕也可作为反刍动物的蛋白质饲料。与机榨浸提卡诺拉菜粕相比，纯压榨菜粕的研究不多，其营养价值与机榨浸提菜粕相似，但脂肪含量较高，能值也高。

作为蛋白质的一部分，纯压榨菜粕的过瘤胃蛋白占比较多，Theodoridou 和 Yu (2013) 采用分子光谱法确认纯压榨菜粕蛋白质受热改变的程度比机榨浸提菜粕的更大。此外，Heim 和 Krebs (2018) 测得湿热处理纯压榨菜粕的过瘤胃蛋白比冷处理纯压榨菜粕多，其占比随湿热处理的压力和时间线性增加。

不同榨油工艺生产的菜粕，如机榨浸提、纯压榨和湿热纯压榨卡诺拉菜粕，均可饲喂奶牛。早期在萨斯喀彻温大学的饲养试验 (Beaulieu et al., 1990; Jones et al., 2001)，近期在宾夕法尼亚州立大学 (Hristov et al., 2011) 的饲养试验表明，在泌乳奶牛日粮中配合纯压榨卡诺拉菜粕，其产奶量与机榨浸提卡诺拉菜粕相当，甚至更高 (表 25)。

文献	榨油工艺	产奶量
Beaulieu et al., 1990	机榨浸提	28.0
	纯压榨	28.0
Hristov et al., 2011	机榨浸提	41.7
	纯压榨	41.7
Jones et al., 2001[1]	机榨浸提	28.6
	纯压榨	30.0
	湿热处理纯压榨	30.0
Jones et al., 2001[2]	机榨浸提	23.6
	纯压榨	24.0
	热处理纯压榨	25.2

[1] 经产奶牛　[2] 初产奶牛

表 25. 不同榨油工艺生产的卡诺拉菜粕对奶牛产奶量的影响，公斤 / 头 / 天

与其他植物蛋白比较，纯压榨卡诺拉菜粕在改善乳脂脂肪酸组成方面表现出色。Johansson 和 Nadeau(2006) 在奶牛有机日粮用纯压榨卡诺拉菜粕替代其他蛋白质饲料，观察到产奶量由 35.4 公斤 / 天增加到 38.4 公斤 / 天，牛奶的饱和脂肪酸浓度降低，特别是棕榈酸 (C16:0) 由 30.3% 降低到 21.9%，乳脂中油酸 (C18:1) 由 15.7% 增加到 20.9%。Jones 等 (2001) 也同样观察到奶牛饲喂纯压榨卡诺拉菜粕时牛奶脂肪酸的变化。Hristov 等 (2011) 用纯压榨卡诺拉菜粕取代其他籽粕饲喂泌乳奶牛，也证实纯压榨卡诺拉菜粕降低了牛奶中饱和脂肪酸的浓度，增加了乳脂油酸的比例。这些结果表明，保留在纯压榨菜粕中的脂肪对瘤胃生物氢化有一定的抵抗力，一部分能被小肠直接吸收。

虽然在加拿大评估纯压榨卡诺拉菜粕的试验不多，但欧洲评估双低菜粕的试验结果可供借鉴。Rinne 等 (2015) 以三叶草做青贮饲料，比较纯压榨豆粕或纯压榨双低菜粕配合比例渐次增加对泌乳奶牛生产性能的影响，随两种蛋白质饲料配比增加，能量校正奶产量随之增加。Gidlund 等 (2017) 用纯压榨双低菜粕饲喂奶牛，检测到奶牛甲烷排放减少。还有一个试验用纯压榨双低菜粕取代泌乳奶牛日粮中的蚕豆，结果导致采食量下降，产奶量降低 (Puhakka et al., 2016)。

卡诺拉油菜籽饲喂奶牛

总体而言，卡诺拉油菜籽或芥花油饲喂奶牛并不常见。人们曾对过瘤胃菜籽或油有过兴趣，目的是生产品牌肉或品牌奶。Chichlolowski 等 (2005) 曾用粉碎的卡诺拉油菜籽和纯压榨卡诺拉菜粕饲喂反刍动物，并观察到粉碎菜籽的好处，降低了乳脂 omega-6 和 omega-3 的比例，增加了牛奶共轭亚油酸 (CLA) 和反式异油酸 (CLA 前体) 比例，虽然对产奶量没有影响，但提高了牛奶健康品质。

Johnson 等 (2002) 也观察到卡诺拉油菜籽和棉籽饲喂奶牛时，牛奶共轭亚油酸和油酸比例增加；整粒、粉碎或膨化卡诺拉油菜籽饲喂奶牛，乳脂饱和脂肪酸比例降低，补充卡诺拉脂肪酸的钙盐也有同样效果 (Bayourthe et al., 2000)。除了卡诺拉油菜籽，其他高脂肪卡诺拉油菜产品也提高了牛奶产量，表明加工过的油菜籽或过瘤胃的菜籽油是改变奶制品脂肪酸成分的有效方法。

Ahsani 等 (2019) 在奶牛日粮配比占干物质 9% 的卡诺拉油菜籽或全脂大豆，并补充 2% 油脂使配方中脂肪达 8%，结果显示两种日粮都导致乳脂下降，卡诺拉油菜籽日粮的产奶量增加，为 41.9 公斤 / 头 / 天，而大豆日粮的产奶量只有 38.4 公斤 / 头 / 天，两者牛奶不饱和脂肪酸含量相似。

大量证据支持特定脂肪酸对奶牛健康和繁殖的积极效应。在干奶期母牛日粮配比卡诺拉油菜籽 (C18:1) 或葵花籽 (C18:2)，母牛分娩后饲喂相同泌乳期日粮，以评估油酸或亚油酸对母牛健康、繁殖性能及犊牛健康的影响 (Salehi et al., 2016a, 2016b)。与对照组比较，卡诺拉油菜籽和葵花籽日粮都增加了犊牛初生重，但也增加了繁殖障碍的风险，葵花籽日粮改善了初乳品质，卡诺拉油菜籽日粮则对初乳品质没有影响。

Beauchemin 等 (2009) 在泌乳母牛日粮分别配比粉碎的亚麻籽、葵花籽或卡诺拉油菜籽，考察长链脂肪酸对瘤胃甲烷产出的影响，亚麻籽和葵花籽是多不饱和脂肪酸的来源，而卡诺拉油菜籽是单不饱和脂肪酸的来源。与对照组比较，无论亚麻籽、葵花籽或卡诺拉油菜籽，所有脂肪酸都降低了瘤胃甲烷产出，但亚麻籽和葵花籽日粮降低了干物质消化率，卡诺拉油菜籽日粮的干物质消化率则没有影响。该试验在泌乳高峰期后，期间没观察到不同处理对产奶量的影响。

CATTLE

肉牛

已证明卡诺拉菜粕是肉牛的优质饲料，能够替代其他几种植物蛋白质。如前所述，卡诺拉菜粕的能量与大麦近似 (Nair et al., 2015, 2016)，是肉牛生长期有价值的能量饲料，也可以作为育肥及冬季放牧肉牛宝贵的能量和蛋白质来源。

饲养试验结果支持卡诺拉菜粕饲喂放牧的母牛。Patterson 等 (1999a, 1999b) 在劣质牧场给母牛分别补饲豆类、葵花籽粕或卡诺拉菜粕，评估其对犊牛初生重、断奶重及母牛体况的影响。结果显示，三种蛋白质饲料对以上三方面的影响基本相当，但补充卡诺拉菜粕的母牛体重孕期损失最少。一项试验用卡诺拉菜粕部分替代放牧母牛日粮中的小麦，观察到母牛泌乳量增加 (Auldist et al., 2014)；后续试验中，研究人员在部分混合日粮配比卡诺拉菜粕，观察到泌乳早期草料干物质摄入增加，能量矫正奶产量也增加。Damiran 等 (2016) 评估了卡诺拉菜粕替代小麦酒糟的效果，试验期间饲喂小麦酒糟的母牛体重损失 7.8 公斤，而饲喂卡诺拉菜粕的母牛体重损失仅 2.5 公斤，无论小麦酒糟或卡诺拉菜粕对犊牛初生重或断奶重没有显著影响。

草场放牧的小牛补饲卡诺拉菜粕同样受益。Lynch 等 (2021) 在劣质草场给 5-6 月龄断奶犊牛补饲卡诺拉菜粕，补饲量分别占体重的 0.5、1.0、1.5 和 2.0%，由少到补饲量 1.5%，干物质采食量和平均日增重线性增加。

生长期补饲蛋白质有益于肉牛成长发育。Yang 等 (2013) 发现补饲卡诺拉菜粕增加了生长期阉牛的采食量和体重。Li 等 (2014) 给生长期小母牛补饲卡诺拉菜粕、小麦酒糟、高蛋白玉米酒糟加尿素，补饲这几种蛋白质饲料都增加了干物质采食量，改善了生长性能，其中卡诺拉菜粕的全消化道消化率最高，高蛋白玉米酒糟加尿素的十二指肠总蛋白质最高。萨斯喀彻温大学曾做过两个生长期肉牛试验，对比等氮豆粕或卡诺拉菜粕日粮、小麦酒糟部分替代豆粕或卡诺拉菜粕对生长性能的影响，第一次试验观察到豆粕与小麦酒糟组体增重最少，第二次试验则没有看到小麦酒糟替代所产生的负面影响 Good (2018)。

Prado 和 Martins(1999) 在 98 天试验期，给育肥母牛配制高粱青贮日粮，分别配比 19.7% 卡诺拉菜粕或 19.5% 棉籽粕，观察到卡诺拉菜粕组日增重 1.05 公斤，而棉籽粕组日增重仅 0.87 公斤。He 等 (2013) 在育肥期肉牛日粮分别配比 15% 或 30% 卡诺拉菜粕，并替代日粮中的大麦，结果显示无论 15% 或 30% 卡诺拉菜粕，两组日粮的日增重没有差别；与大麦对照组比较，30% 卡诺拉菜粕组增加了干物质采食量，但饲料效率略有下降。Damiran 和 McKinnon(2018) 在育肥期肉牛日粮用卡诺拉菜粕替代 10% 和 20% 的大麦，发现与大麦对照组的生长性能没有差异。一般在肉牛日粮中不会配比这么多卡诺拉菜粕，至少说明肉牛不拒食大量卡诺拉菜粕。一项饲养试验观察四种蛋白质饲料：卡诺拉菜粕、豆粕、50% 卡诺拉菜粕 +50% 小麦酒糟、50% 豆粕 +50% 小麦酒糟，对生长育肥期肉牛生产性能的影响，结果表明卡诺拉菜粕、卡诺拉菜粕 + 小麦酒糟、豆粕日粮在体增重、饲料效率方面没有差异，但豆粕 + 小麦酒糟日粮对肉牛育肥性能和牛肉等级有不利影响 (Good, 2018)。

小反刍动物

卡诺拉菜粕富含高硫氨基酸，是生产羊毛和马海毛理想的蛋白质饲料 (White et al., 2000; Easton et al., 1998)。此外，卡诺拉菜粕也被证明可以支持这些肉类反刍动物的生长和泌乳。

绵羊

过去的几个试验表明，卡诺拉菜粕能支持绵羊的生长和生产，在其日粮中的配比没有限制。此外，卡诺拉菜粕可以提高绵羊采食量 (Hentz et al., 2012)，即使在羔羊日粮中配比 30% 双低菜粕，日粮硫代葡萄糖苷浓度 6.3 微摩尔 / 克，也对羔羊采食量和增重没有影响，但菜粕比例增加导致羔羊甲状腺重量增加、甲状腺激素分泌减少 (Mandiki et al., 1999)。在羔羊日粮配比 7% 膨化卡诺拉油菜籽，提高了羔羊生长速度，增加了羊肉肌内脂肪、腰肌面积和感官品相 (Asadollahi et al., 2017)。

传统上，羽扇豆一直是澳大利亚羔羊首选的植物蛋白饲料，但卡诺拉菜粕在饲料效率和体增重 (分别为 272 克 / 天和 233 克 / 天) 方面优于羽扇豆 (Wiese, 2004)，后来的试验结果也支持卡诺拉菜粕在羔羊增重方面优于羽扇豆 (Malau-Aduli et al., 2009)。加拿大的一项研究显示，卡诺拉菜粕在羔羊生长方面比鱼粉更有优势 (Agbossamey et al., 1998)。

直到最近，Sekali 等 (2020) 给生长期羔羊配制等氮日粮，用卡诺拉菜粕或热处理卡诺拉菜粕替代豆粕，数据说明卡诺拉菜粕可以很容易地替代豆粕，热处理工艺并没有给菜粕带来额外价值，生长性能、胴体特征或羊肉品质在各处理间没有差异。卡诺拉菜粕也被认为更具环境可持续性。

山羊

山羊奶和牛奶的氨基酸组成相似，卡诺拉菜粕也应该适合泌乳期山羊，能增加干物质采食量、提高产奶量 (Tajaddini et al., 2021)；研究人员还发现甲醛处理可以提高籽粕粗蛋白过瘤胃率，进而降低籽粕配合比例。

Andrade 和 Schmidely (2006) 给泌乳期山羊配制 0% 或 20% 去皮卡诺拉油菜籽日粮，后者显著地增加了产奶量；后续为期 8 周的饲养试验，在浓缩料配比膨化大豆或去皮卡诺拉油菜籽，数据显示产奶量和奶成分没有差异 (Schmidely and Andrade, 2011)。

卡诺拉菜粕同样可以支持山羊生长。大多数的研究报告都用整粒卡诺拉油菜籽以提高日粮的能量水平，在饲料转化效率方面，卡诺拉油菜籽日粮优于豆粕、亚麻籽粕或葵花籽，但各日粮的平均日增重相当 (Grande et al., 2014)。与棕榈油相比，山羊生长期日粮加入芥花油可以增加肌肉 omega-3 脂肪酸，改善氧化稳定性，减少脏器脂肪沉积 (Karami et al., 2013)。

SHEEP

加拿大油菜籽协会

地址: 400-167 Lombard Avenue Winnipeg,Manitoba Canada R3B 0T6

电话: 01-(204) 982-2100

邮件: admin@canolacouncil.org

网站: www.canolacouncil.org