

小麦粉、次粉、添加脂肪数量 和脂肪来源对仔猪料 制粒作业和颗粒质量的影响¹

EFFECTS OF WHEAT FLOUR, WHEAT MIDDS, FAT ADDITION LEVEL AND FAT SOURCE ON PELLETING OPERATION AND PELLET QUALITY IN NURSERY GROWER

熊易强 博士, 美国大豆协会饲料技术主任

摘 要

设定不同的约束条件, 按最低成本饲料配方原理配合成 9 种日粮配方, 研究了以小麦粉和次粉作为天然粘结剂取代木质素 2X 对制粒作业和颗粒质量的影响、添加 2.5% 脂肪与添加 1.5% 脂肪的影响、以及用高油玉米内在脂肪取代外加脂肪的影响。制粒试验是用一家美国饲料公司的 40 马力 CPM 制粒机在受控试验条件下进行的。试验结果表明, 饲料中 5% 小麦粉或次粉在改善颗粒稳定性方面所起的作用与 1% 木质素 2X (用外推法, 即相当于 2.5% 普通木质素) 相同。将添加脂肪从 2.5% 减到 1.5%, 使颗粒稳定性指标 (PDI) 提高了 7.4 个百分点 ($P=0.0001$), 同时使制粒的电耗 (EEE) 增加 9% (从 5.65 增到 6.16kwh/ton, $P=0.0026$), 比机械能投入 (SMEI) 增加 57% (从 0.90 增到 1.41kwh/ton, $P=0.0036$)。用高油玉米的内在脂肪代替 2.25 百分点外加脂肪并满足较高 ME 水平 (3194kcal/kg), 使 PDI 提高了 3.5 个百分点 ($P=0.0765$), 但在较低的 ME 限定水平 (3139kcal/kg) 比 1.5% 添加脂肪下降了 5.9 个百分点 ($P=0.0060$)。简要讨论了在建立养猪模型时饲料使用较低的 ME 水平 (3139kcal/kg) 的经济效益。

¹ 此文是作者在美国一家公司从事饲料科技开发工作中未发表的研究报告 (1995), 现经美国大豆协会组织翻译发表 (单行本编号 FE3 (2) -2001)。希望这些科研结果能给同行们提供有用的资料; 更希望在如何使科研服务于生产 (或者说如何在生产中推进学科) 这个老话题上与大家交流。

前 言

试验已经证明，添加脂肪（2.5%或以上）对颗粒质量的不良影响可以用制粒后喷涂脂肪的办法加以消除（见前试验报告：“木质素或小麦粉以及制粒前或制粒后添加脂肪对仔猪料制粒作业和颗粒质量的影响”，原文 1994）。在没有设备进行制粒后添加液体的情况下，一个代替的办法是降低脂肪添加量。根据经验，当制粒前添加脂肪不超过 1.5%时，添加脂肪的负面影响不明显。如果使用高油玉米来减少脂肪添加量（保持同样的饲料能量水平），脂肪对颗粒质量的负面影响也可能消除，因为植物细胞内天然存在的细小脂肪粒不会在饲料微粒之间起“润滑”作用。该文所述试验的结果还表明，添加 5%小麦粉可以起到 2.5%普通木质素或 1%木质素 2X 同样的粘结作用。

本试验的目的有三：1) 考察将添加脂肪量从 2.5%减到 1.5%的效果；2) 评价高油玉米的内在脂肪与外加脂肪的不同影响；3) 考查用小麦粉（面粉）和/或次粉作为“天然”粘结剂对制粒作业和颗粒质量（稳定性）的影响，与木质素的影响加以对比。

材料和方法

以仔猪料为基础，在两种添加脂肪水平上配制 9 种最低成本饲料。这两种添加脂肪水平是：2.5%（最低量，简称 2.5 脂）和 1.5%（最高量，简称 1.5 脂）。能量（ME）限制，对 2.5 脂处理设定为 3194kcal/kg（最低量），1.5 脂处理为 3139kcal/kg（最低量）。为 2.5 脂处理安排了 4 种粘结剂处理：1%木质素 2X（简称 1 木）、0.5%木质素 2X（简称 0.5 木）、5%小麦粉（简称麦粉）、5%次粉（简称次粉），还有一个用玉米取代次粉处理中次粉的无粘结剂处理（简称玉米）。为 1.5 脂只安排了“麦粉”、“次粉”和“玉米”3 个处理。最后一个处理是用高油玉米取代“次粉”中的普通玉米，不限制添加脂肪量，采用高能量水平 3194kcal/kg（最低量），简称为“高油玉米”。这样，9 种配方（处理）即为：2.5 脂 1 木、2.5 脂 0.5 木、2.5 脂麦粉、2.5 脂次粉、2.5 脂玉米、1.5 脂麦粉、1.5 脂次粉、1.5 脂玉米、高油玉米。各种饲料的配方和计算得出的养分浓度列入表 1。

每种处理（配方）进行 3 个重复运行（批次），每次运行的批量为 450kg。在搅拌机内加进所有干的原料，混合之后加入脂肪。

制粒试验是用一家美国饲料公司的 40 马力 CPM 制粒机进行的，使用 4.8mm 直径

表 1 试验

	2.5 脂 1.0 木	2.5 脂 0.5 木	2.5 脂麦粉	2.5 脂次粉
玉米	62.575	63.075	59.425	59.275
高油玉米				
小麦粉			5.000	
小麦次粉				5.000
木质素 2x	1.000	0.500		
豆粕 44	28.950	28.900	28.000	28.200
猪油	2.500	2.500	2.500	2.650
基础预混料	1.500	1.500	1.500	1.500
磷酸二钙 21	1.450	1.450	1.450	1.350
灰石	1.100	1.150	1.200	1.100
盐	0.500	0.500	0.500	0.500
赖氨酸-HCl	0.150	0.150	0.150	1.150
维生素预混料	0.100	0.100	0.100	0.100
微量矿物质预混料	0.100	0.100	0.100	0.100
胆碱 60%	0.075	0.075	0.075	0.075
				配方
添加脂肪, %	≥2.5	≥2.5	≥2.5	≥2.5
ME, kcal/kg	3194	3194	3194	3194
木质素 2x, %	1	0.5	0	0
小麦粉, %	0	0	5	0
次粉, %	0	0	0	5
				养分含量
ME, kcal/kg	3203	3208	3230	3199
粗蛋白, %	18.18	18.20	18.11	18.39
粗脂肪, %	5.07	5.09	5.00	5.30
粗纤维, %	3.69	3.70	3.70	3.91
钙, %	0.85	0.85	0.85	0.80
磷, %	0.65	0.68	0.67	0.68
赖氨酸, %	1.20	1.20	1.20	1.20
蛋氨酸+胱氨酸, %	0.72	0.72	0.72	0.72
色氨酸, %	0.22	0.22	0.22	0.22

用配方

2.5 脂玉米	1.5 脂麦粉	1.5 脂次粉	1.5 脂玉米	高油玉米
63.525	60.575	60.675	64.825	
				62.250
	5.000			
		5.000		5.000
28.900	27.900	28.050	28.750	27.650
2.500	1.350	1.400	1.350	0.250
1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
1.450	1.450	1.350	1.450	1.350
1.200	1.200	1.100	1.200	1.100
0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
0.150	0.150	0.150	0.150	0.125
0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
约束值				
≥2.5	≥1.5	≥1.5	≥1.5	≥1.5
3194	3139	3139	3139	3194
0	0	0	0	0
0	5	0	0	0
0	0	5	0	5
计算值				
3210	3183	3144	3159	3197
18.24	18.16	18.43	18.27	19.18
5.11	3.99	4.10	4.01	4.41
3.71	3.72	3.93	3.73	3.63
0.85	0.85	0.80	0.85	0.80
0.68	0.68	0.69	0.68	0.69
1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
0.73	0.72	0.73	0.73	0.77
0.22	0.22	0.22	0.22	0.24

环模，模孔有效长度为 48mm，释放倒口。锅炉蒸汽压设定为 3.5 - 3.9kg/cm²，Cospect 蒸汽阀后的蒸汽压为 0.8kg/cm²。其他加工参数，诸如喂料速度、调制器的蒸汽注入量和磨辊/环模间隙等，按操作员的经验设为最佳值。

记录的加工参数有：蒸汽调制前、后的物料温度，环模出口颗粒温度，环模出口两次连续 30 秒接料所得的湿颗粒产率（细碎物返机未计在内），制粒电耗。

采集蒸汽调制前的物料样品测定水分和粒度；采集蒸汽调制后样品测定水分。最终产品采样测定颗粒稳定性指标（pellet durability index，PDI）。

将湿颗粒产率按调制后物料水分换算成 12% 水分（假定制粒中的水分丢失可忽略不计）记录为产率。根据产率和安培读数计算电耗（EEE），单位为 kwh/ton。根据产率及生产时安培读数减去无负荷安培读数（即当制粒机零负荷运转时的安培数，该饲料厂加工条件下的观察值为 45A），计算比机械能投入（SMEI），单位是 kwh/ton。物料的温度、水分升幅由蒸汽调制器前、后读数之差得出，制粒温度升幅由环模出口颗粒温度与调制机出口物料温度之差得出。

试验数据用 SAS 线性模型进行方差分析。

结果和讨论

9 个处理全部参数的单因子分析结果列入表 2。由表可见，蒸汽调制中各处理之间在水分升幅及温度升幅方面统计上均无差异（对水分， $P = 0.1990$ ；对温度， $P = 0.9378$ ）。在前一试验的木质素处理之间出现的温度和水分上升，这次均未发生。前一试验的木质素 2X 添加量（2.5%）是本试验最高添加量（1.0%）的 25 倍。本试验有统计差异的加工参数为环模出口温度升幅（ $P = 0.0999$ ）电耗（EEE）和比机械能投入（SMEI）（ $P = 0.0257$ ）。

总的说，本试验达到的 PDI 值（67.4-83.07%）远低于前一试验（81.1-92.2%）。本试验是在冬季进行的，调制前的物料温度为 17 - 18 ；前一试验是在夏季进行的，调制前物料温度达 37 - 40 。其结果是，尽管本试验注入了更多蒸汽而有更大的温度升幅（两文均见表 2）但本试验调制后的物料温度（65 - 68 ）仍比前一试验（71 - 76 ）低 6 - 8 。本试验用的蒸汽调制器的滞留时间只有 10 秒，有些饲料厂靠调节打板角度和/或加一台调制器（双调制器），将滞留时间延长到 20 - 30 秒，在这些饲料厂，寒冷天气与调制前物料温度低的负面影响可能小一些。尽管这样，这两个试验都能看出配方/原料的有关影响。5% 小麦粉或次粉对改善颗粒稳定性所起的作用至少与 1% 木质素 2X（按外推相当于 2.5

%普通木质素)相等(见表2,比较2.5脂麦粉处理和2.5脂次粉处理的PDI值与2.5脂木质素处理的PDI值)。小麦粉和次粉的粘结功能可能出于以下因素:1)小麦胚乳中的面筋有很强的持水力,作用似胶;2)小麦淀粉的特性;3)次粉中的纤维素也有助于将微粒粘结在一起。

为进一步查明天然粘结剂(小麦粉和次粉)以及脂肪添加量的影响,用2.5脂麦粉、2.5脂次粉、2.5脂玉米、1.5脂麦粉、1.5脂次粉和1.5脂玉米的数据进行了 2×3 双因子分析,结果列入表3、表4。将添加脂肪量从2.5%减为1.5%使PDI提高了7个百分点($P=0.0001$,表3),添加的脂肪妨碍饲料微粒粘结。添加脂肪量从2.5%减为1.5%,SMEI增加了57%(1.41对0.9kwh/ton),SMEI反映了实际用于压紧饲料的能量,从而可以部分地解释为何减少外加脂肪会改善颗粒饲料的PDI。1.5脂处理的制粒温度升幅较大(6.3对4.8)与它的SMEI增加是一致的(表3)。前一试验,当添加2.5%脂肪的处理从制粒前添加脂肪改为制粒后喷涂脂肪或不添加脂肪时,SMEI和EEE未见增大(见前试验报告表4)。这一情况只能解释为试验误差,前一试验毕竟重复太少。

麦粉和次粉处理的PDI值高于对照(玉米处理,见表4),说明小麦粉和次粉具有粘结作用。次粉处理的PDI值相对低于麦粉处理,其原因可能是:1)次粉基本上不含面筋;2)次粉的淀粉含量比麦粉少得多。次粉处理的SMEI,特别是EEE,数字上高于玉米处理和麦粉处理(表4),但统计上差异不显著。

本试验数据证实了我们原先的发现,即:1)5%小麦粉或次粉所起的作用等同于1%木质素2X或2.5%木质素;2)将制粒前添加脂肪量从2.5%减为1.5%可以很显著地提高PDI值,在不具备制粒后喷涂液体的设备时,这可能是改善颗粒质量最简易的办法。从配方中将添加脂肪量减少一个百分点会使饲料的ME下降约55kcal/kg。这就提出一个问题:饲料的ME下降55kcal/kg对动物生产表现和养猪的总经济效益有什么影响?

表5所引是用本项目选出的几种饲料(2.5脂麦粉、2.5脂次粉、1.5脂麦粉、1.5脂次粉)进行的另一项 2×2 因子饲养试验的结果。从平均日增重(ADG, $P=0.1292$)和饲料转化率(F/G, $P=0.0513$)都可看到能量水平与粘结剂来源(小麦粉对次粉)之间的相互关系。这个试验的数据表明,将ME限定从3194kcal/kg降为3139kcal/kg不会给动物生产表现造成统计上的差异(对ADG, $P=0.5051$;对F/G,

表 2 试验配方的加工

	2.5 脂 1.0 木	2.5 脂 0.5 木	2.5 脂玉米	2.5 脂麦粉
蒸汽调制:				
水分, %				
调制前	14.3	14.5	14.4	14.2
调制后	17.7	17.7	17.8	17.5
水分升幅	3.4	3.3	3.4	3.3
温度, °C				
调制前	17.2	18.2	17.9	18.3
调制后	65.1	66.2	67.1	67.1
温度升幅	47.9	48.0	49.2	48.8
制粒:				
环模出口温度, °C	70.0	70.7	71.7	71.1
环模出口温升, °C	4.9	4.5	4.6	4.1
产率, ton/h	2.07	2.16	2.13	2.14
EEE* kwh/ton	5.65cd	5.49d	5.57cd	5.56cd
SMEI*, kwh/ton	0.85c	0.89bc	0.89bc	0.89bc
PDI*, %	76.41bc	71.34de	67.40e	79.02ab

*EEE=电耗;SMEI=比机械能投入;PDI=颗粒饲料稳定性指

参数和颗粒饲料质量

2.5 脂次粉	高油玉米	1.5 脂玉米	1.5 脂麦粉	1.5 脂次粉	P 值
14.3	13.1	14.6	14.4	14.6	
17.7	16.5	18.0	17.6	17.7	
3.4	3.4	3.4	3.1	3.1	0.1998
18.2	17.6	18.5	17.1	17.4	
65.9	66.3	67.6	64.9	65.6	
47.7	48.7	49.1	47.8	48.2	0.9379
71.7	72.9	72.6	71.8	72.6	
5.7	6.7	5.0	6.9	7.1	0.0999
2.03	2.09	2.08	2.17	2.06	0.2019
5.82bcd	5.65cd	6.18ab	5.98abc	6.31a	0.0081
0.91bc	0.86c	1.36ab	1.39ab	1.47a	0.0257
73.58cd	77.13bc	77.26bc	83.07a	81.91a	0.0001

标:a,b,c,d,e 差异显著 $P < 0.05$

P = 0.4519)。如大规模地重复这饲养试验，降低 ME 限定（从 3194kcal/kg 降为 3139kcal/kg）导致动物生产表现的这微小数字差异可能会变成统计上显著差异。即使如此，相信在哺乳阶段的这一微小差异不会延续到生长育肥阶段。多数情况下，来自饲料粮食的 ME 成本低于来自脂肪的 ME 成本。此外，根据赖氨酸（和/或其他营养素）/ME 理论，饲料成本就可能进一步下降。本文作者曾用 AA/ME 比率理论成功地建立了“最大效益”家禽饲料配方：在一个固定的 AA/ME 比率下一定范围内变动 ME，目标函数定为生产单位产品的饲料成本最低。很有可能用一种 ME 相对较低的饲料，比如 3139kcal/kg，在猪的整个饲养中达到较低的（净）增重总成本。该公司当时的养猪模型只包含生长育肥阶段（与 MarkGahl 和 JoeHahn 私人通信）。如掌握了数据，建议最好在养猪的总体生长模型中纳入早期阶段。

本研究观察到，当添加脂肪量从 2.5% 减到 1.5% 时，电耗增加 9%（从 5.13 增到 5.95kwh/ton）。这增加的电费以及可能加大的环模磨损看来是采用降低外加脂肪的低能量水平配方来提高颗粒质量的代价。

表 3 制粒前添加脂肪量对加工参数和颗粒饲料质量的影响

	添加脂肪，%		P 值
	2.5	1.5	
蒸汽调制：			
水分升幅，%	3.3	3.2	0.1901
温度升幅，	48.5	48.4	0.8452
制粒：			
温度升幅，	4.8	6.3	0.0554
产率，ton/h ²	2.10	2.10	0.9214
EEE*，kwh/ton	5.65	6.16	0.0026
SMEI*，kwh/ton	0.90	1.41	0.0036
PDI*，%	73.33	80.75	0.0001

* EEE = 电耗；SMEI = 比机械能投入；PDI = 颗粒饲料稳定性指标

应注意到，本文前面提过，前一试验当全部添加脂肪都是在制粒后喷涂的情况下，电耗没有增加。

按平均电费每 kwh\$0.10 计算，根据本试验数据（表 3），将添加脂肪量从 2.5 %减为 1.5%，增加的电费应为\$0.05/ton，在工业规模生产时还要低得多。按工业生产用的环模平均一个 \$ 3000，每制粒 10,000ton 更换环模，添加脂肪量较低的饲料制粒时的环模磨损假定加快 5%，则环模磨损造成的加工成本增加应为 \$0.015/ton。根据以上估计，在工业生产条件下，降低添加脂肪量所增加的总加工成本不超过\$0.05/ton。

表 4 天然粘结剂对加工参数和颗粒饲料质量的影响

	“玉米” [*]	“麦粉” [*]	“次粉” [*]	P 值
蒸汽调制：				
水分升幅，%	3.4	3.2	3.2	0.1313
温度升幅，	49.1	48.3	48.0	0.5041
制粒：				
温度升幅，	4.8	5.5	6.4	0.2307
产率，ton/h ²	2.11	2.16	2.05	0.0693
EEE ^{**} ，kwh/ton	5.88	5.77	6.07	0.2179
SMEI ^{**} ，kwh/ton	1.13	1.14	1.19	0.9314
PDI ^{**} ，%	72.33c	81.05a	77.75b	0.0001

* “玉米”：对照，粉碎玉米为其唯一谷类，无粘结剂

“麦粉”：以 2 号小麦粉取代“玉米”配方中 5 个百分点的粉碎玉米

“次粉”：以小麦次粉取代“玉米”配方中 5 个百分点的粉碎玉米

** EEE=电耗；SMEI=比机械能投入；PDI=颗粒饲料稳定性指标；a, b, c, 差异显著 P<0.05

表 5 添加脂肪量/ME 水平和粘结剂来源对仔猪生产表现的影响

	2.5 脂麦粉	2.5 脂次粉	1.5 脂麦粉	1.5 脂次粉
添加脂肪量, %	2.5	1.5	1.5	1.5
ME, kcal /kg	3230	3199	3183	3144
天然粘结剂	麦粉	次粉	麦粉	次粉
平均日增重, kg/d	2.87	3.02	2.98	2.80
饲料转化率	1.74	1.67	1.69	1.77

资料来源：Joseph Hahn, 1995

在高油玉米处理的配方中固定采用 5%次粉，由于高油玉米的高含油量 - 高 ME 值，要达到限定的 ME 值(3194kcal /kg)只需要 0.25%添加(外来)脂肪(表 1)。按表 2 所示，高油玉米处理的 PDI 比 2.5 脂次粉处理高 3.5 个百分点 (P=0.0765)，但比 1.5 脂次粉处理低 5.9 个百分点 (P=0.0060)，这两个处理都含 5%次粉。看来这个结果并不支持内在脂肪不损害颗粒质量的说法。事实上，高油玉米组的 SMEI 值(0.86kwh/ton)是在所有含 2.5%添加脂肪的处理(“ 2.5 脂 ”，表 2)的 SMEI 范围之内(0.85 — 0.91kwh/ton)，这说明，在降低将物料压过环模的能量方面，高油玉米所含脂肪与添加的外部脂肪作用是一样的。以上所述仅为一次试验的结果，是很初步的。关于内在脂肪与外加脂肪对制粒作业和颗粒质量的影响，现在作出结论尚为时过早。

(刘瑞征 翻译)