

加工温度和保温时间对热处理全脂大豆的脲酶活性、胰蛋白酶消化率和瘤胃可降解蛋白(体外测定)的影响¹

EFFECTS OF PROCESSING TEMPERATURE AND HOLDING TIME ON UREASE ACTIVITY , PEPSIN DIGESTIBILITY AND RUMINAL DEGRADABLE PROTEIN(IN VITRO)OF JET-SPLODED FULL FAT SOYBEANS

熊易强 博士，美国大豆协会

摘 要

用温度为 232 (处理代号 232T)、260 (260T)、288 (288T)、310 (310T) 的喷射气流分别处理全脂大豆(简写 JSPSB)，立即取样盛入不锈钢保温瓶内，保温时间分为 0h(处理代号 0h)、0.25h(0.25h)、0.50h(0.5h)、0.75h(0.75h)、14h(14h) 等处理。232T、260T、288T、310T 在取样时的初始大豆温度分别是 103 、110 、116 、122 。用工业生产的蒸汽压片全脂大豆(简写 SFSB)样品作为试验对照。对所有样品都进行以下测定，即：脲酶活性(UA，测 pH 升高值)、AOAC 修改法胃蛋白酶(0.002% 溶液)体外消化率(PD)、瘤胃可降解蛋白(体外法)(RDP)。对 JSPSB 而言，UA 值，0h 处理全在 0.2 以上(0.63 至 1.61)，其他处理全低于 0.2(0.02 至 0.20)；PD 值为 81-88%，在处理温度范围内不受影响，但保温时间加长到 14h 则 PD 下降；RDP 随热风温度提高和保温时间加长而下降，最低值为 38%(310T14h)。对 SFSB 而言，UA、PD、RDP 分别是 0.03、81%、67%。以上结果表明，恰当地掌握热处理的温度和保温时间，可以增进反刍动物和非反刍动物对蛋白质的利用率，并可节省加工能量。

前 言

热风喷射是全脂大豆处理技术之一。有人发表过关于热风处理大豆

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。1999 年 8 月经美国大豆协会组织翻译发表。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发展）这个老话题上与大家交流。

(jet-sploded soybean, 简写 JSPSB)的营养评价和推荐加工参数的文章(Morrill, 1984;Ruegsegger 等人, 1985;Deacon 等人, 1988)。

目前在一家美国饲料厂实行的热风处理包括以下工序：进厂清理——热风处理(热风温度对反刍动物饲料为 310℃, 对非反刍动物饲料为 302℃)——压片辊压片——用外界空气鼓风冷却——保温仓——料仓——锤式粉碎机(不带筛)粉碎, 出厂。进厂清理是为了防止原料中混杂的枯杆在高温气流处理时燃烧。所设定的热风温度并无任何在蛋白质消化率和/或降解率方面的研究作为依据。高温气流喷射后立即用外界空气鼓风, 原意是令物料冷却, 实际上造成可高达总量 10%的水分丢失(根据与饲料厂经理谈话); 另一方面还使送至保温仓的大豆温度降到 52-65℃(根据与饲料厂值班主任谈话)。现行作业的加工成本主要有: 过度干燥造成的水分丢失、加热和冷却大豆的能量费用。涉及产品质量的主要问题是热处理不稳定(过度加热或加热不足), 有时产品中可见到发黑炭化的大豆(片状)。

已经确认, 热处理效果不仅取决于温度, 还取决于处理时间长短和产品水分(Liener, 1958)。

取消空气冷却会使受热大豆(片状)保持高得多的温度, 从而增强热处理效果。这样就可以把前面热处理的温度降低一些从而节约能耗。取消空气冷却还有一个好处是避免大量的水分丢失。有理由期望, 恰当地掌握热处理温度和保温时间将使产品(无论是反刍动物饲料或非反刍动物饲料)质量更加稳定。基于上述设想, 本项研究的内容就是利用体外方法结合化学分析, 论证取消空气冷却的可行性, 并考察温度和保温时间对 JSPSB 的蛋白可利用率(包括对反刍动物和非反刍动物)的影响。

材料和方法

大豆热处理在一家饲料厂进行, 用市售大豆作为试验材料, 热处理之前加以清理。热风处理的进风温度分别调整到 232℃(处理代号 232T)、260℃(260T)、288℃(288T)、310℃(310T)。

避开冷却风扇在压片辊下面取样, 将样品盛入不锈钢保温瓶中。每种热风温度又分为几种不同的保温时间, 有 0h(处理代号 0h)、0.25h(0.25h)、0.50h(0.5h)、0.75h(0.75h)、14h(14h)。

在调定热风温度后至少 10 分钟才进行取样, 以保证样品是在指定温度下经受热处理。用数字温度计(Fisher 16-077-2A)在保温开始和结束时记录大豆温度。将大

豆从保温瓶中倒出，冷却至室温，然后粉碎至通过 1mm 筛，进行实验室分析。同时，将一份工业生产的蒸汽压片的全脂大豆(steam flaked full fat soybean, 简写 SFSB) 样品粉碎，作为试验对照。共计有 21 个试验处理：232TOh、232T0.25h、232T0.5h、232T0.75h、232T14h、260TOh、260T0.25h、260T0.5h、260T0.75h、260T14h、288TOh、288T0.25h、288T0.5h、288T0.75h、288T14h、310TOh、310T0.25h、310T0.5h、310T0.75h、310T14h、SFSB。

脲酶活性(UA)分析(AOAC, 1984)是在美国该饲料公司实验室(USL)进行的。体外瘤胃液蛋白质分解率(RDP)(Xiong 等人, 1990)和胃蛋白酶蛋白质消化率(PD)是在北京农业大学(BAU)进行的。PD 同时采用目前 AOAC 方法(1984)和修改法(用稀释胃蛋白酶溶液)(Johnston 和 Coon, 1979a, b)分析。水分和粗蛋白分析在 USL 和 BAU 两家实验室同时进行。粗脂肪分析在 USL 进行。

统计分析：所有 JSPSB 样品都用 SAS 线性模型进行数据处理。由于各个温度/保温时间处理均无重复取样，不能将互作效应从误差中分出。

结果和讨论

豆粕温度

232T、260T、288T 和 310T 各外理的大豆初始温度分别是 103、110、116 和 122。由于在压片辊下立即取样盛入保温瓶并立即测定大豆温度，所测温度应当是十分接近大豆实际温度的。当时的热风温度与受热大豆温度之间相差 130 (对 232T)至 188 (对 310T)，这可能是由于热风与大豆接触时间仅有 30-40 秒，热传导尚不充分的缘故。不过，该系统让热风在处理大豆之后再循环使用，这种设计在能量效率方面还是比较高的。在热处理器的出口处(压片辊的前面或上方)安置了一个温度计，生产上一直将它记录的温度作为“大豆温度”，实际上这是热风接触大豆热交换之后的热风温度，而不是大豆真正达到的温度。本研究记录的温度(103—122)都在加工浸出豆粕的烘烤温度范围之内(Gravans 和 Sipsos, 1958; Shields, 1984)。不过，(热处理)加工程度还取决于温度持续时间和大豆水分。大豆温度随保温时间延长而下降。将取样和保温瓶隔热程度方面可能有的差别忽略不计，用 310T 的每个保温时间处理的大豆最初温度和最终温度作图得出了一条温度变化曲线(图 1)。在无限延长的保温时间之后，大豆粕温度应与室温相等，假定室温为 21，温度变化数据与含有两个速率常数的一级反应动力学模型高度吻合(图 1)，这两个速率常数应是温差(大豆温度与外界温度之差)和保温瓶隔热程

度二者的函数。保温瓶隔热程度不同于饲料厂保温仓和储料仓的隔热程度(这应是隔热材料和加工大豆数量的函数),但是温度变化的趋势应是相近的。因此,本研究用保温瓶保温的大豆可以用来作为研究保温时间影响的模型。

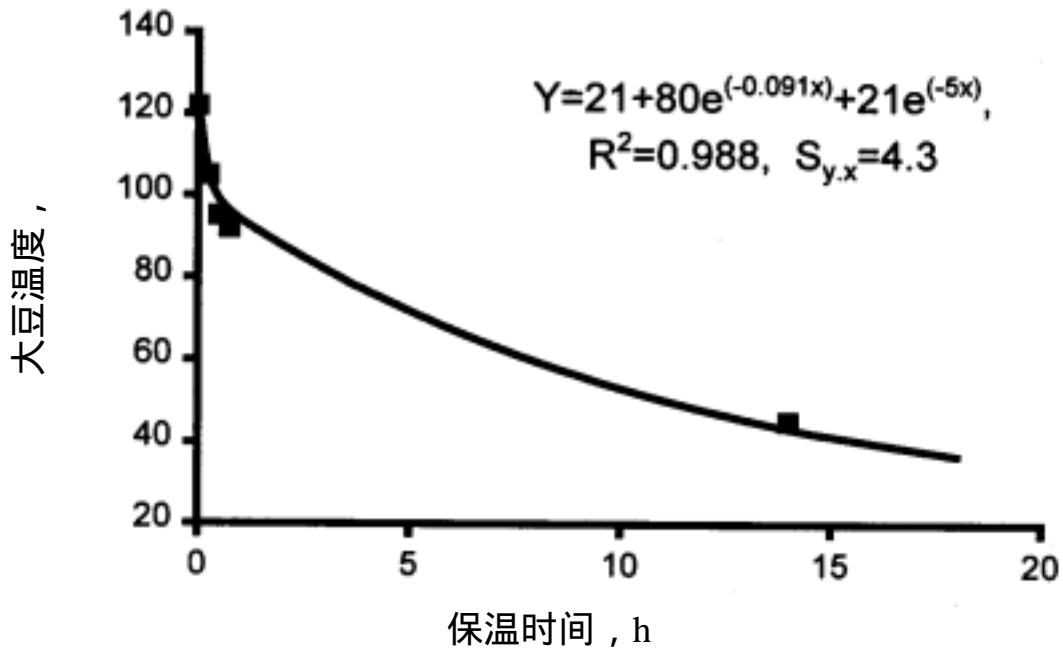


图1 保温期间的大豆温度变化

化学分析

表1列出在USL和BAU进行的化学分析结果。两个实验室的分析结果基本相同。所有JSPSB样品的蛋白质和脂肪含量均无统计误差($P > 0.25$)。JSPSB的粗蛋白平均值是 $42.1(\pm 0.16)\%$,脂肪平均值是 $17.7(\pm 0.97)\%$ 。SFSB的蛋白质和脂肪分别是 39.8% 和 20.7% 。与SFSB比较,JSPSB的蛋白质高2.3个百分点,脂肪低3.0个百分点。如将SPSB的各项分析指标的标准差用来作为估量JSPSB和SFSB的合并标准差,则JSPSB和SFSB之间的差别在蛋白质方面是14个标准差,脂肪是3个标准差。可见,这两个不同来源的大豆应当看作是来自不同群体。进厂清理工序从大豆中清除枯杆,这可能会加大两批大豆在蛋白质上的差别,缩小在脂肪上的差别。

提高热风温度会降低大豆水分(线性, $P < 0.01$)。保温时间对大豆水分没有影响($P > 0.25$)。JSPSB样品的含水量在 5.2% 至 8.2% 范围,远高于该饲料厂目前的FSPSB含水量范围(2—3%)。由于JSPSB样品量小,保温后又将样品倒在纸上冷却,这会导致水分丢失,所以,生产中取消风扇冷却后,JSPSB保留的水分可能比本

研究的水分数值还要高。SFSB 的平均含水量是 8.04%。

表 1 JSPSB 的化学分析结果

保温 时间 h	热风温度 ,							
	232		260		288		310	
	USL ^b	BAU ^c	USL	BAU	USL	BAU	USL	BAU
	----- 粗 蛋 白 , % (db) -----							
0	42.5	42.0	42.6	41.5	42.3	42.3	42.0	41.9
0.25	42.5	41.8	42.8	41.5	41.9	42.6	42.1	42.4
0.50	42.7	41.8	41.8	42.3	41.3	41.9	42.2	41.8
0.75	42.0	41.9	43.1	42.0	41.7	42.1	42.3	41.6
14	42.6	42.2	41.9	42.2	42.3	42.0	42.5	41.3
SFSB ^a	39.9	39.8						
	----- 粗 脂 肪 , % (db) -----							
0	15.6	—	18.6	—	17.2	—	16.9	—
0.25	19.1	—	17.1	—	19.2	—	17.8	—
0.50	17.8	—	16.0	—	16.6	—	17.9	—
0.75	17.4	—	18.1	—	17.2	—	18.0	—
14	18.2	—	17.9	—	18.8	—	18.5	—
SFSB	20.7	—						
	----- 水 分 , % -----							
0	7.80	7.60	6.11	6.36	5.47	5.57	5.34	5.66
0.25	6.60	6.43	5.84	6.12	6.00	6.08	5.19	5.44
0.50	7.01	6.74	6.24	6.25	5.48	5.79	5.52	5.50
0.75	7.23	7.09	6.03	6.20	5.78	5.92	5.17	5.55
14	8.19	7.72	6.72	6.88	6.48	6.45	5.90	6.09
SFSB	8.65	7.43						

^a SFSB=蒸汽压片全脂大豆

^b USL=美国一饲料公司分析室

^c BAU=北京农业大学

脲酶活性

以 pH 升高值表示的脲酶活性(UA)列于表 2。公认 0.2 单位升高值是大豆适度熟化的上限，尽管个别畜种可以耐受更高的脲酶活性(Mian 和 Garlich，1986)。所有 0 保温时间处理的 UA 值都很高，说明熟化不够。所有保温时间长于 15 分钟(0.25h)

处理的 pH 升高值均低于 0.2，说明已充分熟化。热风温度从 232 提到 310，或大豆温度从 103 提到 122，其 0 保温处理的 UA 分别从 1.61 降到 0.63。在热风温度为 232 或大豆温度为 103 时，将保温时间从 0 延长至 15 分钟，脲酶活性从 1.61 降为 0.2。这说明了保温时间的重要作用。

表 2 JSPSB 的脲酶活性(pH 升高值)

	保温时间, h				
	0	0.25	0.5	0.75	14
232T	1.61	0.20	0.13	0.16	0.15
260T	1.24	0.05	0.05	0.05	0.03
288T	0.68	0.06	0.04	0.09	0.02
310T	0.63	0.03	0.11	0.03	0.03
SFSB ^a	0.03				

^a SFSB=蒸汽压片全脂大豆

1990 年 9 月至 1991 年 2 月，从该饲料厂加工发送到 USL 的 JSPSB，其平均 UA 值是 0.52(标准差 0.39pH 升高值)。在 36 个分析样品中，25 个熟化不足(pH 升高值大于 0.2)。JSPSB 熟化不足的情况主要原因在于热处理后立即导入外界冷凉空气的作法。当大豆传送进仓时，大豆温度可能会在 1 分钟内降至 52—65。仓内的保温时间不是严格掌握的，这可能是热处理程度变动很大的原因之一。鼓风冷却使得大豆丢失大量水分，进一步削弱了热处理的作用。

脲酶活性测定是指示熟化不足的一个很好指标(Garlich, 1987)，但测定过度熟化的大豆或豆粕并不敏感(Dale 等人, 1986; Araba 和 Dale, 1987)。这可能是本研究中保温时间超过 15 分钟 (0.25h)的样品，其 UA 不很规律的原因所在(表 2)。

胃蛋白酶消化率

表 3 所示是同时用 AOAC 标准方法和修改法测定胃蛋白酶消化率(PD)的结果。用 AOAC 方法得出的 PD 读数都比修改法高。修改法用了一种稀释的胃蛋白酶溶液(0.002%)。AOAC 法灵敏度差，因为浓度过高(0.2%)的胃蛋白酶提高了所有蛋白成分的消化率；稀释的胃蛋白酶则能更好地显示真实的差别(Dudley-Cash 和

Halloran, 1988)。用修改的 AOAC 方法测定结果进行统计分析,可看出保温时间对 PD 的线性影响($p < 0.01$),而温度对 PD 没有影响($P > 0.25$)。保温时间从 45 分钟(0.75h)延长到 14h,PD 下降 2.2 个百分点($P = 0.1$)很有意思的是,无论用 AOAC 标准法或修改法测定, SFSB 的 PD 均低于 JSPSB。现在还说不清这种差别的原因是加工方法的差别还是原料来源的差别,不过可以肯定地说, JSPSB 的蛋白消化率至少同 SFSB 一样好。

表 3 JSPSB 蛋白的体外胃蛋白酶消化率(%)

热风温度	保温时间, h				
	0	0.25	0.50	0.75	14
----- AOAC 方法 -----					
232	92.9	95.2	95.7	95.5	94.6
260	91.8	95.9	96.7	92.0	94.6
288	91.9	92.1	94.2	92.6	91.9
310	93.1	91.6	92.0	92.2	92.5
SFSB ^a	84.3				
----- 修改的 AOAC 方法 -----					
232	88.4	87.3	84.6	85.9	80.5
260	86.7	85.9	85.7	85.3	81.9
288	85.6	86.6	85.4	82.9	85.0
310	85.2	84.6	85.5	84.8	82.6
SFSB	81.4				

^a SFSB=蒸汽压片全脂大豆

用 AOAC 标准法测定时, 0 保温时间与其他保温时间处理的 PD 值没有差别 ($P > 0.25$); 用 AOAC 修改法测定时, 0 保温时间的 PD 值略高一些(表 3)。看来体外胃蛋白酶消化测定不能指示大豆的熟化不足。都知道酶反应是高度专一性的, 胰蛋白抑制剂不能抑制胃蛋白酶活性。脲酶活性和胃蛋白酶消化率两个指标并用, 可能是优化对非反刍动物饲料热处理参数的好办法。从本研究结果来看, 热风温

度 232 (或大豆初始温度 103) ,保温 15 分钟 ,可以得到适用于非反刍动物的饲料。为避免熟化不足 ,推荐采用 30 分钟保温时间。从表 2 和表 3 看出 ,在很宽的温度和保温时间范围都显示高的 PD 值和低的 UA 值(pH 升高值低于 0.2) ,这说时采用推荐的加工参数应能保持产品质量的稳定。

瘤胃可降解蛋白

表 4 列出体外测定的瘤胃可降解蛋白占饲料总蛋白的百分数(RDP)。RDP 随温度升高而下降(线性 , $p < 0.01$) ,还随保温时间延长而下降(线性 , $p < 0.01$)。310T14h 的 RDP(37.7%)几乎是 SFSB 的 RDP(67.2%)的一半 ,这说明热处理提高了过瘤胃蛋白质水平。

表 4 反刍动物可消化蛋白质体外测定结果

热风温度	保温时间 , h				
	0	0.25	0.50	0.75	14
232	100.0	81.1	75.9	71.6	59.5
260	72.7	71.3	66.8	62.2	43.6
288	71.0	65.9	58.5	51.6	41.0
310	65.1	59.7	44.6	61.6	37.7
SFSB ^a	67.2				

^a SFSB=蒸汽压片全脂大豆

我们曾在北京农业大学将 RDP 体外测定法与体内测定结果作过比较(Zhana , 1987)。已知体内测定结果的样品是从欧州和美国一些实验室收集的。体外测定与体内测定之间全部样品的合并相关系数是 0.56($p < 0.01$) ,而体外测定与同一实验室内体内测定之间的相关系数是 0.71 至 0.99。合并回归(从体外结果推测体内结果)的斜率是 1.28 ,而按同一实验室的测定结果得出的回归斜率是 1.28 至 2.30。这说明 ,实验室之间体内测定的误差更大。按本研究看到的体内外测定差别 ,体内测定结果应至少乘以 1.28 的系数。譬如 ,310T14h 与 232T0.5h 之间的体外测定差别是 38.2 个百分点 ,假定斜率是 1.28 ,则该两个处理之间的体内差别应是 48.9。这

数值应足以补偿因保温时间延至 14h 所致的 2 个百分点的蛋白质消化率下降(表 3)。根据以上所述,推荐对反刍动物的 JSPSB 加工参数是 288 或 310 ,保温 14h。如进一步研究下去,可能会发现,将 14h 保温时间适当缩短,会使蛋白质更易于消化,同时保持很高的过瘤胃蛋白质水平。

结 论

本项研究证实了取消风扇冷却工序有以下好处:可降低热量和水分损失,提高热处理效率,并可节约热处理能量和费用。

恰当地掌握 JSPSB 的热处理温度和保温时间,可以改善蛋白质可利用率,提高产品质量稳定性。根据本试验数据,推荐用于非反刍动物的 JSPSB 的加工参数是热风温度 232 或大豆初始温度 103 ,保温 30 分钟;加工用于反刍动物的 JSPSB 作为过瘤胃蛋白质来源时,应提高热风温度至 288—310 ,或大豆初始温度至 116—122 ,保温延长至 14h。

为进一步确认上述推荐的作业流程修改和加工参数,有必要继续进行一项中试研究。

(刘瑞征 翻译)

参考文献

- AOAC. 1984. Official methods of analysis (14th ed). Assoc. Offic. Anal. Chem., Washington, DC.
- Araba, M. and N. Dale. 1987. Reliability of protein solubility as an indicator of overprocessing of soybean meal for chicks. Poultry Sci. Abstr (66):57.
- Cravens, W. W. and Endre Sipos. 1958. Soybean oil meal. in "Processed plant protein foodstuffs". Ed. A. M. Altschul. Academic Press Inc. Publ., New York. 369.
- Dale, N., O. W. Charles and S. Duke. 1986. Reliability of urease activity as an indicator of overprocessing of soybean meal. Poultry Sci. Abstr.(65):164.
- Deacon, M. A., G. DeBoer, and J. J. Kennelly. 1988. Influence of jet-sploding and extrusion on ruminal and intestine disappearance of canola and soybeans. J. Dairy Sci. 71:745

Dudley-Cash , William A and Hobert R. Halloran. 1988. A better test of protein availability may exist. Feedstuffs. December 5. 14.

Garlich , J. D. 1987. Urease-trypsin inhibitor relationship in commercially produced soybean meals. Poultry Sci. Abstr.(66):103.

Johnston , J. and C. N. Coon. 1979a. A comparison of six protein quality assays using commercially available protein meals. Poultry Sci. 58:919.

Johnston , I and C. N. Coon. 1979b. The use of varying levels of pepsin for pepsin digestion studies with animal proteins. Poultry Sci. 58:1271.

Liener , I. E. 1958. Effect of heat on plant protein. In "Processed plant protein foodstuffs". Ed. A. M. Altschul. Academic Press Inc. Publ. New York. 79.

Mian , M. and J. D. Garlich. 1986. Tolerance of turkey poults to high urease soybean meal. Poultry Sci. Abstr.(65):93.

Morrill , J. M. 1984. Processing soybeans with the jet-sploder. Feed International. Feb. 1984 , 20.

Ruegsegger , G. J. and L. H. Schultz. 1985. Response of high producing dairy cows in early lactation to the feeding of heat-treated whole soybeans. J. Dairy Sci. 68:3272.

Shields Jr. , Richard G. 1982. Influence of severity on processing of soybean meal on the performance of growing swine. Final Report. D & D 377. Farmland Industries Inc.

Xiong , Y. , S. J. Bartle , R. L. Preston and Q. Meng. 1990. Estimating starch availability and protein degradation of steam-flaked and reconstituted sorghum grain through a gas production technique. J. Anim. Sci. 63:3880.

Zhang , H. 1987. In vitro method based on measurements of ammonia nitrogen content and gas production for estimating ruminal protein degradation. M.S. These. Beijing Agri. Univ. (in Chinese with English abstract).