

大豆皮制粒

PELLETING SOYHULL¹

过世东 李璿 王会兵 江南大学
熊易强 美国大豆协会

摘 要

通过实验室和工厂两级试验，研究合理的大豆皮制粒工艺参数和制粒后颗粒大豆皮有关的物理和营养特性。研究发现，入模水份是影响大豆皮制粒产量和电耗的重要因素。采用调质前预加水的方法，可将制粒产量从 2t/h 提高到 8t/h，电耗由 52kwh/t 降低到 13kwh/t。试验所得大豆皮颗粒的容重达到 615—710 g/l，比普通大豆皮容重增加 4-5 倍。大豆皮制粒后，颗粒形状稳定，粉化率低于 7%。当制粒温度达 98℃ 时，抗胰蛋白酶杀灭率可达 62-66%，制粒后保持颗粒出模温度 40 分钟，抗胰蛋白酶杀灭率由 62-66% 增加至 76—77%。随制粒温度的提高和保温时间的延长，抗胰蛋白酶杀灭率更高。

前 言

先进的制油工艺采用先去皮、后溶剂浸出提取大豆油。与传统的机械压榨及连皮浸出工艺相比，该工艺生产能力大，豆粕质量高。随着这一工艺的普及，大豆皮将成为现代制油工业的主要副产品之一。

大豆皮约占大豆重量的 8%，占大豆体积的 10%¹。大豆皮对牛、羊等反刍动物，猪、兔等单胃动物及狗等宠物的饲用价值已被众多学者证实^{2、3、4、5、6、7}。然而，大豆皮容重小（与同重量的玉米相比，大豆皮的体积约是玉米的 5-6 倍），抗胰蛋白酶等有害因子含量高（脲酶活性高于 1 mgN/min.g）。这类对饲料加工、运输、储藏和动物生长不利的物理及营养特性使大豆皮这一饲料资源在中国至今未得到合理的应用。

¹ 本试验由美国大豆协会提供经费资助
单行本编号 FE5-2001

本项目通过实验室和饲料加工厂两个级别的试验，进行大豆皮制粒成本及质量的研究，探索合理的大豆皮加工工艺。

材料与amp;方法

1. 大豆皮

江苏张家港东海粮油工业有限公司生产，各特性参数如表 1。

表 1 原料大豆皮特性参数

容重(kg/m ³)	粒度(μm)	脲酶活性 (mgN/min.g)	水份(%)
120-130	1700	1.0-1.6	6.5-9.0
粗蛋白(%)	粗脂肪(%)	粗纤维(%)	灰分(%)
10.0-11.0	1.5-1.7	34.0-35.0	4.5-5.0

2. 实验室设备

粉碎机：9FQ-20

颗粒机：Buhler 实验颗粒机，主电机 5.5kW。

实验室颗粒机压模配备如表 2。

表 2 实验颗粒机压模配备

压模孔径-孔深 (mm)	4-45	6-60	8-65
压模内径(mm)	180	180	180
开孔率(%)	16.2	18.0	15.5

蒸汽发生器：30DEF-40/8 型

颗粒粉化仪：Retsch AP1 型

容重仪：61-71 型

硬度计：Kiya Seisakusho 木屋式

3. 工厂设备

颗粒机：CPM651 型，主电机 132kW；

蒸汽压力：减压前 1.17MPa，减压后 0.22MPa。

工厂颗粒机压模配备如表 3。

表 3 工厂颗粒机压模配备

压模孔径-孔深 (mm)	4.5-50.0
压模内径(mm)	520.0
开孔率(%)	25.4

4. 测定方法

测定数据：各实验重复进行 4 次，取 4 次结果的算术平均值为实验结果。

几何平均粒度和几何标准差：美国农业工程师学会标准 ASAE S319 法。

容重、水份：美国农业工程师学会标准 ASAE S269.3 法。

粉化率、硬度：中华人民共和国国家标准 GB/T16765-97 法。

粉化率测定：(1) GB 法。按 GB/T16765-97 进行。(2) 加螺母法。国外一些饲料厂在粉化率测定仪的旋转箱内加螺母以提高机械撞击力，认为这样的测定过程会更好。国外一些饲料厂在粉化率测定仪的旋转箱内加螺母以提高机械撞击力，认为这样的测定过程会更好地反映实际运输及饲喂过程中的机械破坏情况。采用加螺母法时，粉化率测定仪的两旋转箱体内各加 M10 螺母 2 个，进行高撞击力测定。

抗胰蛋白酶活性：以中华人民共和国国家标准 GB8381-87 法及 PH 法测定脲酶活性，由此间接表示抗胰蛋白酶活性。

5. 研究方案设计

研究分三步进行：(1) 由实验室制粒初步试验评定影响制粒产量、质量的主要因素并确定各因素的合适试验范围。(2) 由初步试验结果安排正交实验。正交实验结果作为工厂生产参数的设定依据。(3) 进行工厂验证制粒生产，并考察降低产品脲酶活性的措施和效果。

结 果

1. 实验室制粒结果

根据实验室初步制粒结果安排正交试验因素及水平如表 4。

以制粒产量(Q)、电耗(E)、产品粉化率(GB 法 Pn、加螺母法 Pa)、硬度(H)、容重(W)为考察指标，得正交试验结果如表 5。

表 4 正交试验因素及水平安排

因素	入模水份 (%)	粉料粒度 Dgw (μm) (Sgw)	压模孔径(mm) (开孔率%)
水平	A	B	C
1	14 ± 0.5	500(2.3)	4(16.2)
2	17 ± 0.5	900(1.7)	6(18.0)
3	20 ± 0.5	1300(1.7)	8(15.5)

表 5 大豆皮制粒正交试验结果

A	B	C	产量	电耗	粉 化	率 (%)	硬度	容重
			(kg/h) Q	(kwh/t) E	GB法 Pn	加螺母 Pa	(kg) H	(g/l) W
1	1	1	103.4	56.3	2.6	3.6	9.4	701
1	2	2	116.2	50.1	3.6	5.3	9.1	678
1	3	3	66.3	87.8	2.4	3.0	17.3	693
2	1	2	185.7	31.3	3.8	6.3	7.4	633
2	2	3	157.3	37.0	6.8	10.4	7.7	615
2	3	1	104.6	55.6	1.6	2.5	10.0	678
3	1	3	116.0	50.2	4.1	5.6	13.1	670
3	2	1	131.0	44.4	2.3	4.6	6.8	627
3	3	2	114.1	51.0	2.4	3.3	10.7	645

试验结果极差分析如表 6。

表 6 正交试验结果极差分析

指标Q				指标E			
因素	A	B	C	因素	A	B	C
QK ₁	285.9	405.1	339.0	EK ₁	194.1	137.8	156.4
QK ₂	447.6	404.5	416.0	EK ₂	124.0	131.5	132.4
QK ₃	361.1	285.0	339.6	EK ₃	145.6	194.4	175.0
Qk ₁	95.3	135.0	113.0	Ek ₁	64.7	45.9	52.1
Qk ₂	149.2	134.8	138.7	Ek ₂	41.3	43.8	44.1
Qk ₃	120.4	95.0	113.2	Ek ₃	48.5	64.8	58.3
QR	53.9	40.0	25.7	ER	23.4	21.0	14.2
指标Pn				指标Pa			
因素	A	B	C	因素	A	B	C
PnK ₁	8.6	10.5	6.5	PaK ₁	11.9	15.5	10.8
PnK ₂	12.2	12.8	9.8	PaK ₂	19.2	20.3	14.9
PnK ₃	8.8	6.4	13.3	PaK ₃	13.5	8.8	19.0
Pnk ₁	2.9	3.5	2.2	Pak ₁	4.0	5.2	3.6
Pnk ₂	4.1	4.3	3.3	Pak ₂	6.4	6.8	5.0
Pnk ₃	2.9	2.1	4.4	Pak ₃	4.5	2.9	6.3
PnR	1.2	2.2	2.2	PaR	2.4	3.9	2.7
指标H				指标W			
因素	A	B	C	因素	A	B	C
HK ₁	35.8	29.9	26.1	WK ₁	2072	2004	2006
HK ₂	25.1	23.5	27.2	WK ₂	1926	1920	1956
HK ₃	30.6	38.0	38.1	WK ₃	1942	2016	1978
Hk ₁	11.9	10.0	8.7	Wk ₁	690.7	668.0	668.7
Hk ₂	8.4	7.8	9.1	Wk ₂	642.0	640.0	652.0
Hk ₃	10.2	12.7	12.7	Wk ₃	647.3	672.0	659.3
HR	3.5	4.9	4.0	WR	48.7	32.0	16.7

各因素与各指标的相互关系如图 1 至图 6。

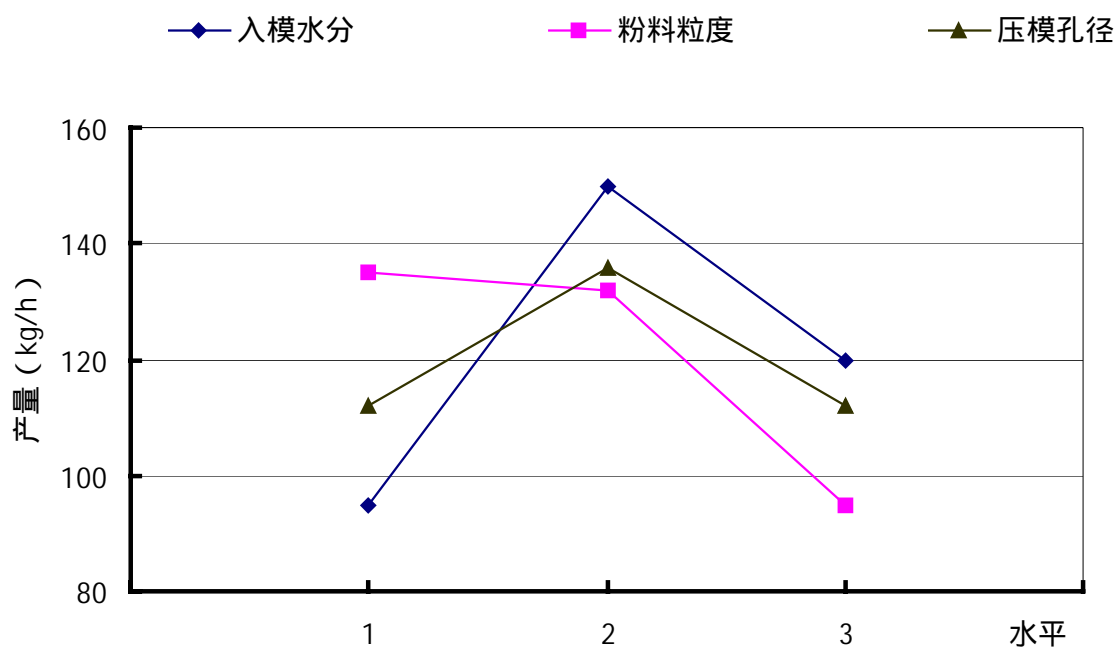


图1 各因素与产量关系

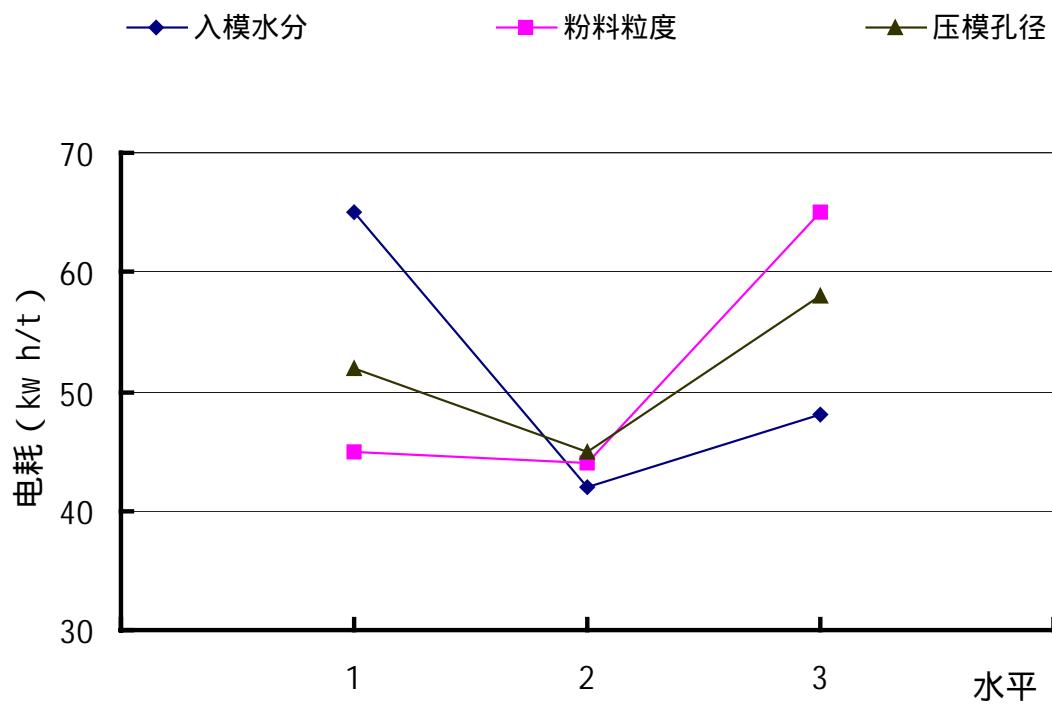


图2 各因素与电耗关系

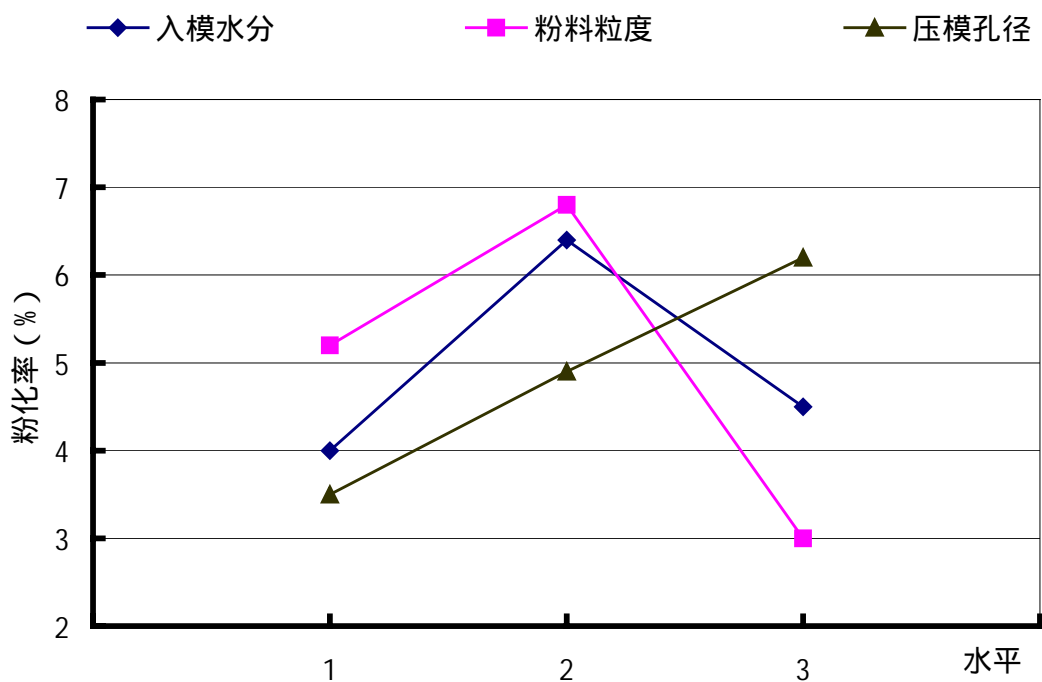


图3 各因素与粉化率（加螺母）关系

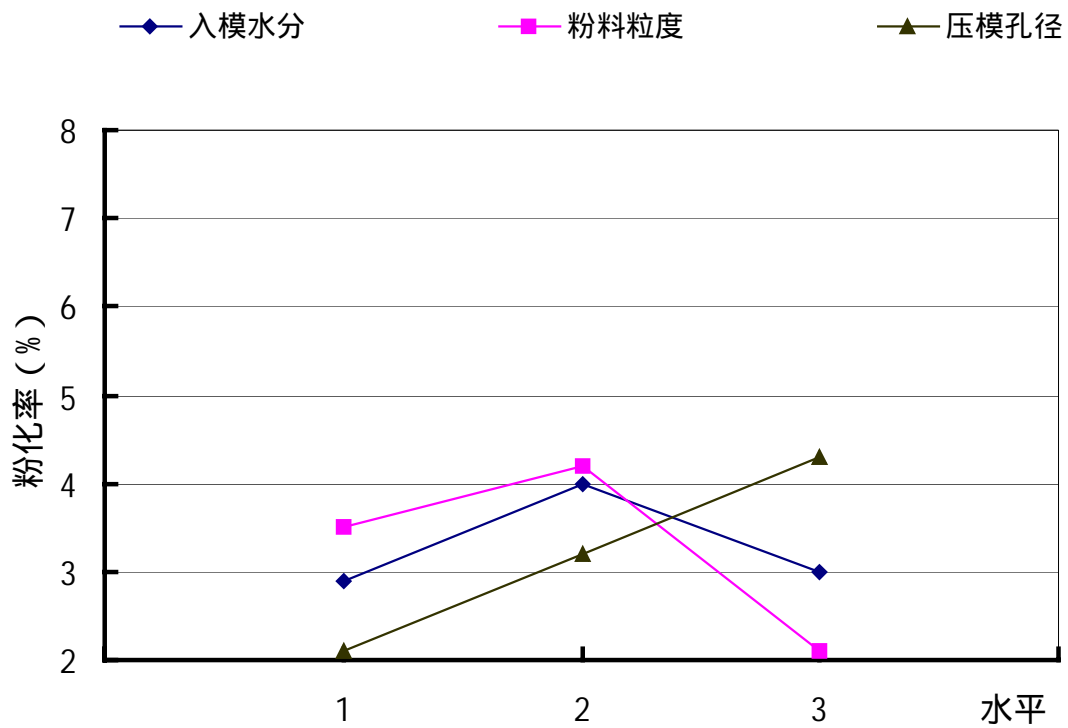


图4 各因素与粉化率（不加螺母）关系

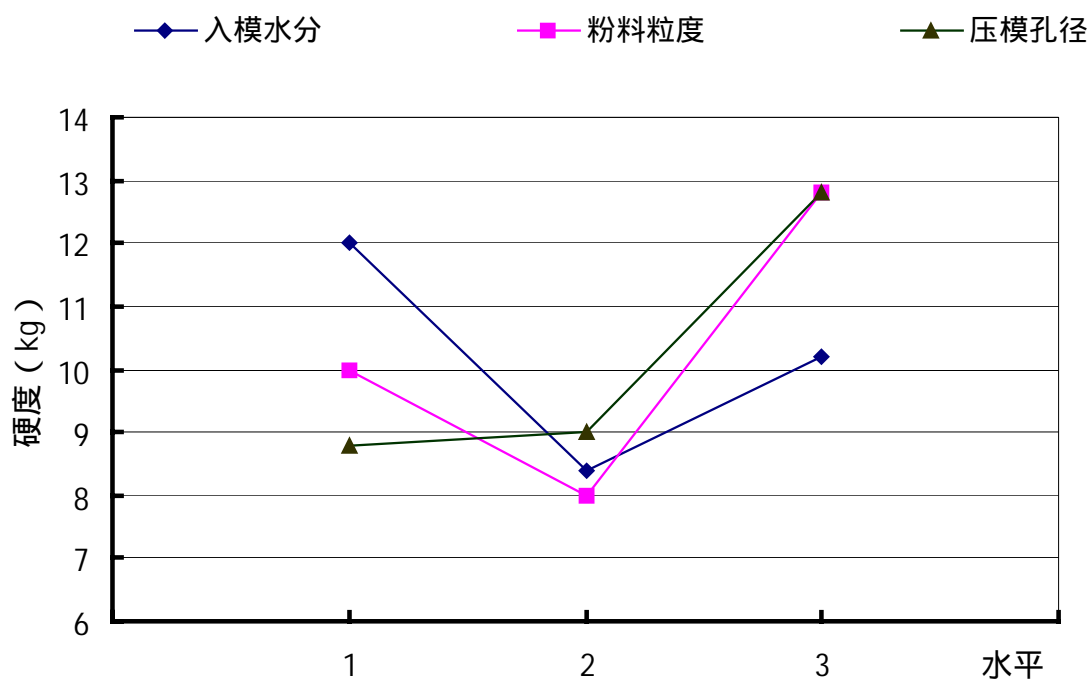


图5 各因素与硬度关系

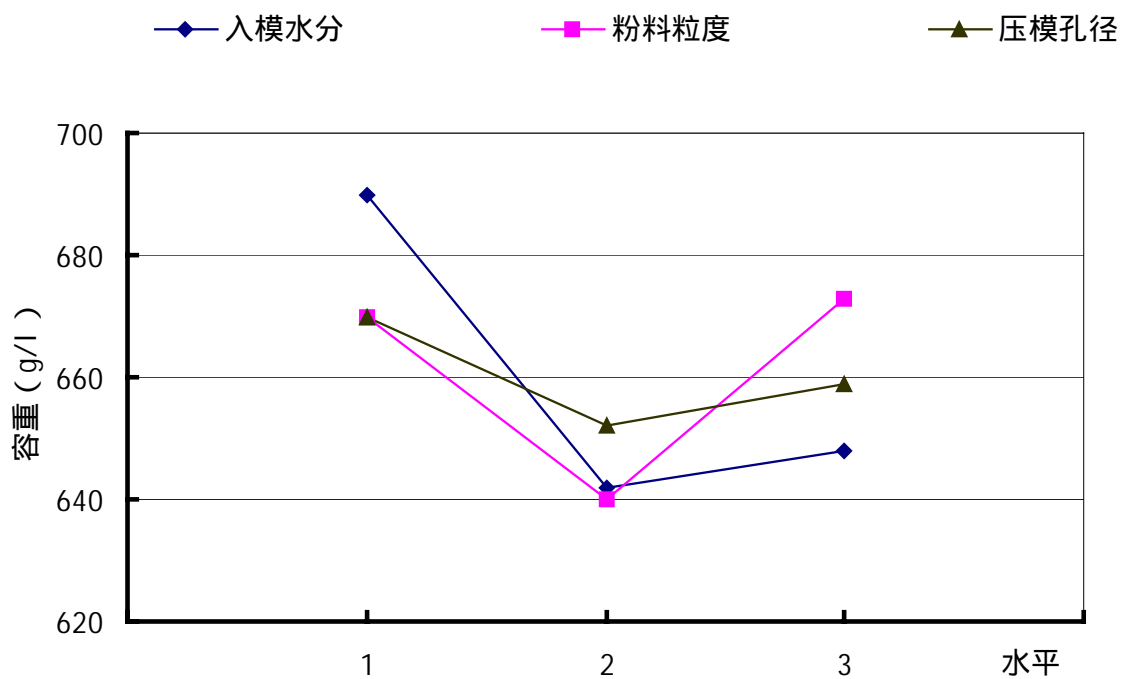


图6 各因素与容重关系

上述图表反映出：(1) 三因素均对产量、电耗这两项重要加工指标有显著影响，其影响强弱程度依次为：水份—粒度—孔径。较佳的入模水份为 17% 左右。(2) 各因素对容重的影响较弱。所有试验条件下，大豆皮一经制粒，容重都大于 600 kg/m^3 ，达到制粒前大豆皮容重的 5 倍以上，接近玉米容重。(3) 各因素对粉化率、硬度虽有影响，但试验条件下，所得颗粒的该两指标均达到中国国家饲料标准的要求（粉化率 10%）。作为原料加工，在符合国家饲料标准前提下，粉化率、硬度两项指标可作为次要指标考虑。

根据正交试验结果，考虑到大豆皮的主要饲喂对象为牛、羊、兔及妊娠母猪等不希望原料粒度太细小的动物，设定合适的加工参数为：水份 18.2%；粉料粒度 $900 \mu\text{m}$ ；压模孔径 6mm。以此参数进行验证试验，结果：产量 168.5kg/h；电耗 34.6kwh/t；粉化率 5.6%(GB 法)；硬度 8.1kg；容重 625g/l。

2. 工厂生产性实验结果

检测不同制粒条件下，由工厂生产的 15 个样品，其容重、粉化率、硬度三指标的变动范围如表 7。

表 7 15 个样品容重、粉化率、硬度变动范围

指标	容重(g/l)	粉化率(GB 法)(%)	硬度(kg)
变动范围	646—710	0.8—6.0	8.1—12.3

表 7 结果说明，虽然容重、粉化率、硬度是大豆皮颗粒的重要质量指标，但与实验室试验结果相似，在工厂现有条件下，都能使该三项指标合乎要求。为此，在以下试验中不再考察容重、粉化率、硬度三指标。

1) 生产能力和电耗

实验室试验结果已证明，入模水份是影响制粒产量和电耗的最主要因素。在水份含量为 7.6% 的豆皮中，每吨分别加入 0、57.2、94.8kg 水并混合均匀，使制粒原料水份分别为 7.6、12.6 及 15.6%。再经调质达到不同入模水份。由此进行制粒试验。结果如表 8 和图 7、图 8 所示。

表 8 不同水份对豆皮制粒产量、电耗的影响*

原料水份 (%)	入模温度 ()	入模水分 (%)	出模温度 ()	出模水分 (%)	压粒温升 ()	产量 (t/h)	电耗 (kwh/t)
7.6	85.0	10.9	108.0	5.5	23.0	2.0	52.3
7.6	90.0	11.4	112.5	5.8	22.5	2.0	52.1
12.6	85.0	15.9	96.8	13.3	11.8	6.1	16.9
12.6	90.0	16.4	97.3	13.6	7.3	6.5	15.8
15.6	85.0	18.8	94.0	15.9	10.9	6.4	16.1
15.6	90.0	19.2	95.5	16.0	5.5	8.1	12.2

* 制粒条件为：原料粒度 500 μm，压模孔径 4.5 mm。

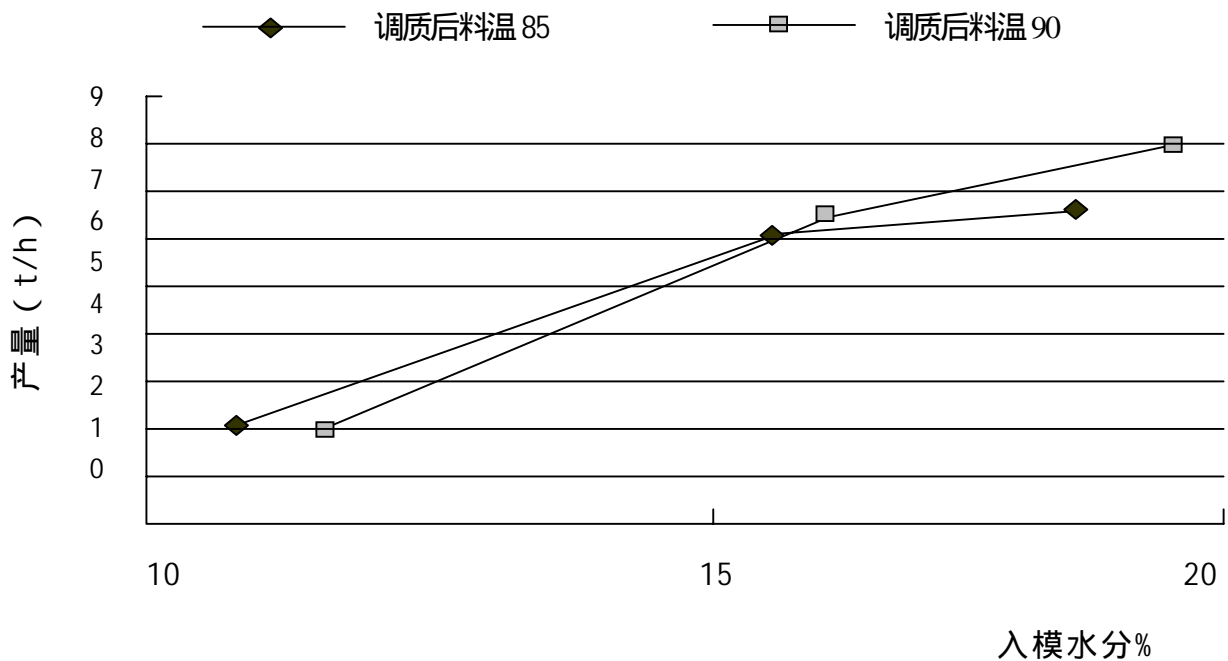


图 7 制粒水分对产量的影响

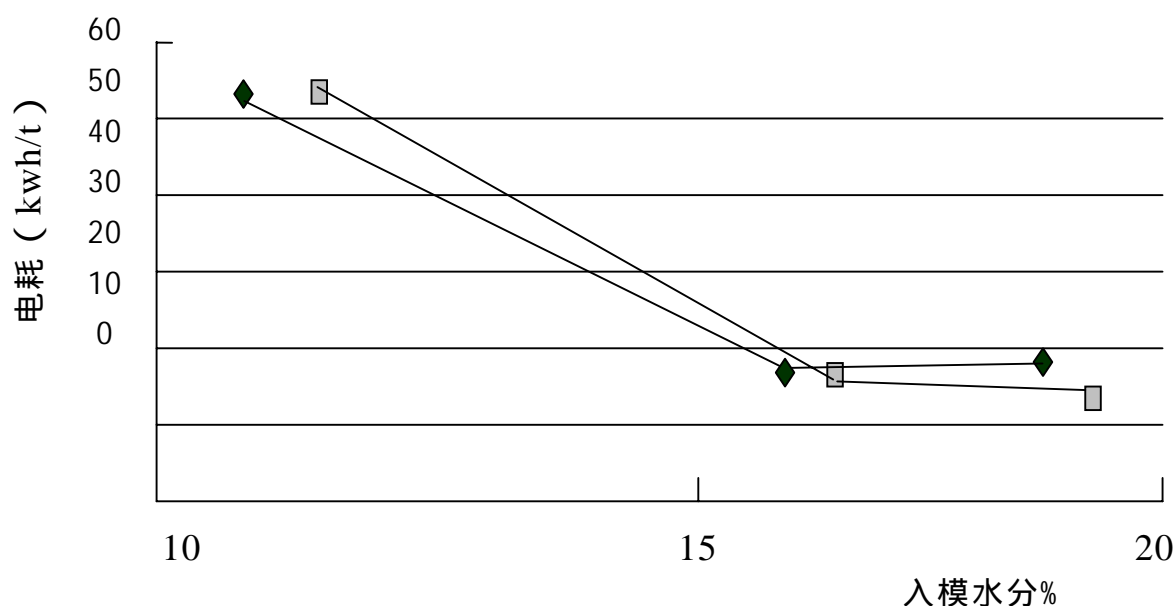


图 8 制粒水分对电耗的影响

下述工厂生产性实验结果说明：(1) 大豆皮原料经水份调节后，制粒产量增加达 300%；电耗仅为原电耗的 23%。(2) 在入模水份低于 16%时，两种调质温度对产量、电耗的影响不大；入模水份高于 16%时，调质温度 90 的制粒效果优于 85 。

2) 脲酶活性变化

制粒时调质及强制过孔成型两过程均使豆皮温度升高。制粒后暂缓冷却干燥，在一定时间内保持出模颗粒的高温、高水份状态。测得大豆皮颗粒在此时间段内的脲酶活性变化如表 9。

从表 9 中得出：(1) 大豆皮颗粒产品的脲酶活性随制粒温度的升高而降低。当颗粒出模温度高于 98 时，大豆皮中的脲酶活性已低于 0.4mgN/mi n. g。当颗粒出模温度高于 114 时，大豆皮中的脲酶活性已趋近于 0。(2) 大豆皮颗粒产品的脲酶活性随制粒后保温时间的延长而降低。当颗粒出模温度为 93 时，虽脲酶活性高于 0.4mgN/mi n. g，但经 20 分钟保温，脲酶活性即降为 0.31mgN/mi n. g。

表 9 大豆皮脲酶活性在制粒、保温期间的变化*

出模料温 ()	出模水分 (%)	测试项目	保温时间 (min)							
			0	10	20	30	40	50	60	
114	5.5	保温末温度 ()	114	110	102	93	93	93	78	
		脲酶活性**	pH法	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
			GB法	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
115	5.8	保温末温度 ()	115	112	111	113	110	105	105	
		脲酶活性	pH法	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
			GB法	0.05	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
98	13.3	保温末温度 ()	98	97	98	98	98	97	96	
		脲酶活性	pH法	0.42	0.38	0.32	0.26	0.27	0.19	0.19
			GB法	0.34	0.31	0.27	0.24	0.23	0.19	0.20
98	13.6	保温末温度 ()	98	98	97	97	95	94	93	
		脲酶活性	pH法	0.49	0.37	0.28	0.27	0.29	0.19	0.25
			GB法	0.38	0.30	0.25	0.23	0.24	0.16	0.22
93	15.9	保温末温度 ()	93	89	89	90	89	90	89	
		脲酶活性	pH法	0.54	0.37	0.36	0.34	0.29	0.19	0.31
			GB法	0.43	0.29	0.31	0.30	0.24	0.17	0.25
101	16.0	保温末温度 ()	101	101	101	100	101	100	99	
		脲酶活性	pH法	0.20	0.08	0.07	0.05	0.01	0.02	0.00
			GB法	0.20	0.09	0.07	0.06	0.00	0.04	0.02

* 大豆皮原料脲酶活性为 1.0 mgN/mi n. g

** 脲酶活性单位为： pH法 pH值；国标法（GB法）mgN/mi n. g

讨 论

1. 实验室与工厂试验结果都证明，在多种制粒条件下，大豆皮颗粒的容重、粉化率、硬度等指标能满足运输、储藏的要求。

与同样实验室条件下制得的米糠颗粒（容重 589g/l）⁸相比，大豆皮颗粒有较高的容重（容重 615g/l）。且低水份条件下制得的颗粒容重更高。其原因可从两方面得到解释，一为低水份大豆皮在通过压模模孔时受到更强的摩擦阻力，使粉末大豆皮挤压得更紧密；二为制粒后冷却干燥过程中颗粒失去的水份不多，因水分挥发而在颗粒内部形成的空隙较少。

实验室制取的大豆皮颗粒，其粉化率、硬度两指标随压模孔径的增加而变差。其原因的假设为：高纤维含量的大豆皮传递压力的能力较差，颗粒内部的受压强度不均匀致使颗粒易散。

采用粉化仪回转箱内加螺母与不加螺母（GB 法）两种方法测定大豆皮颗粒的粉化率，得结果如图 9。

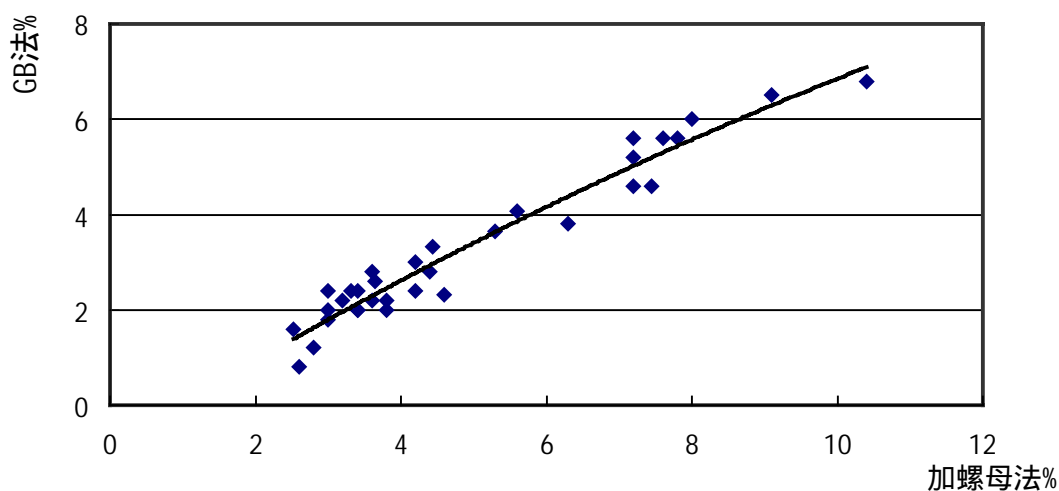


图 9 两种粉化率测定法结果

对测定结果进行回归分析，得两种测定法结果的回归方程为：

$$Y = -0.017X^2 + 0.938X - 0.87 \quad (R^2 = 0.946)$$

式中：X：加螺母法测得的粉化率（%）。适用范围：X > 2.5。

Y：对应样品 GB 法测得的粉化率（%）。

图 9 及上述回归方程反映出，国标法和加螺母法所测得的粉化率结果有很强的相关性，而加螺母法更灵敏地反映了样品粉化率的变化。

得出上述回归方程的样品部分来源于实验室，部分来源于工厂，因而该方程可同时适用于大豆皮颗粒的研究和生产性测定。但该公式是否适用于其它原料的饲料颗粒，尚需进一步验证。

2. 制粒产量和电耗是大豆皮生产厂家关心的重要指标。调节入模水份是改良该两指标的有效手段。入模水份较低时，大豆皮粉末不易软化，呈小容重的松散状态，压模、压辊组成的攫入区能容纳的豆皮质量很少，当压模保持固定速度转动时，受到有效挤压的大豆皮很少，从而导致制粒产量降低。另一方面，表 8 中第一、第二行数据显示出，低水份时，颗粒成型使大豆皮的温升高达 22.5 - 23 。这意味着，入模水份低，颗粒表面与模孔内壁及压辊的摩擦强烈，大量机械能转化成热能而被消耗。

正常条件下的大豆皮水分为 6—9%。刚出油厂的水份较低，南方地区储藏时间长的水份则较高。在此水份段的大豆皮经调质后入模水份一般为 11—14%。实验室和工厂的制粒结果都表明，这一水份下制粒是不经济的。

针对大豆皮这一特定原料，有必要进行制粒前水份调节。在工厂进行如下演示实验：混合机中加水，将粉末大豆皮的水份由 7.1% 调高至 15.1%，而后进调质器调质让水份升高到 19.2%。由此制粒，产量为 8 t/h，电耗为 13 kwh/t。而工厂原先直接调质制粒的产量仅为 2 t/h，电耗高达 52kwh/t。

3. 大豆皮制粒过程如能将抗营养因子杀灭，则大豆皮的饲用范围将会扩大。高温可杀灭豆类饲料中的抗胰蛋白酶，这已被众多学者证实。但采用普通制粒机作为大豆类产品灭酶工具的研究尚未见报道。

尽管有关脲酶活性对饲用大豆制品影响的研究报道不尽相同^{3, 9, 12}，对饲用大豆制品抗胰蛋白酶活性的限制量各国都有规定。中国国家标准 GB10379—89、GB10380—89 中规定饲料用大豆饼、大豆粕的脲酶活性不得超过 0.4 mgN/min.g。美国建议脲酶活性值为 0.05 - 0.2⁹；欧洲认为脲酶活性 0.5 可以接受¹⁰。在此，以中国国家标准为依据，对各研究结果进行分析。

本研究结果显示，如出模颗粒温度 101 ，则杀灭大豆皮中抗胰蛋白酶的效果非常明显。制粒过程时间较短是灭酶的不利条件。然而，制粒过程中豆皮的高水份状态和制粒机对豆皮施加的高温、高压，无疑有利于灭酶。

大豆皮颗粒出模温度为 98 时，其脲酶活性已达到安全程度（低于 0.4

mgN/mi n. g)。但仅依靠这一加工参数还不能保证全部大豆皮颗粒达到国家规定的脲酶活性允许范围。灭酶过程中，极大多数酶的活性呈比例降低¹¹。本实验采用的大豆皮自身脲酶活性较低（1.0 mgN/mi n. g），采用出料温度 98 的制粒参数，脲酶活性为 0.34 - 0.38 mgN/mi n. g，即制粒的灭酶率为 62 - 64%。通常，大豆皮原料的脲酶活性范围为 1.0 - 1.6 mgN/mi n. g。在上述灭酶率下，如原料脲酶活性为 1.6 mgN/mi n. g 时，制粒后脲酶残留活性就可能达到 0.54-0.61 mgN/mi n. g，超出国家标准规定的允许范围。

从表 9 中可得，采用高温（出模温度 101）制粒可有效灭酶，但受加工设备的限制，并非所有厂家都能采用这种加工参数。同时，过高的制粒温度有可能在能耗、有效成份损失等方面带来负面影响。大豆皮制粒后暂缓冷却干燥，保持颗粒的出模温度 30-40 分钟，可进一步杀灭抗胰蛋白酶。如表 9 所示，各制粒条件下，出模颗粒经 40 分钟的保温处理，脲酶活性都低于等于 0.24 mgN/mi n. g，即灭酶率达到 76%以上。即使原料脲酶活性为 1.6 mgN/mi n. g，在此灭酶率下，大豆皮颗粒中的脲酶残留活性也不会超出国家标准规定的允许范围。

国内评定大豆制品或大豆副产品的脲酶活性通常采用国标法，英、美等国则习惯使用 pH 法。与研究两种粉化率测定法相似，本研究将 46 只样品同时采用国标法和 pH 法进行脲酶活性测定。测定结果如图 10。

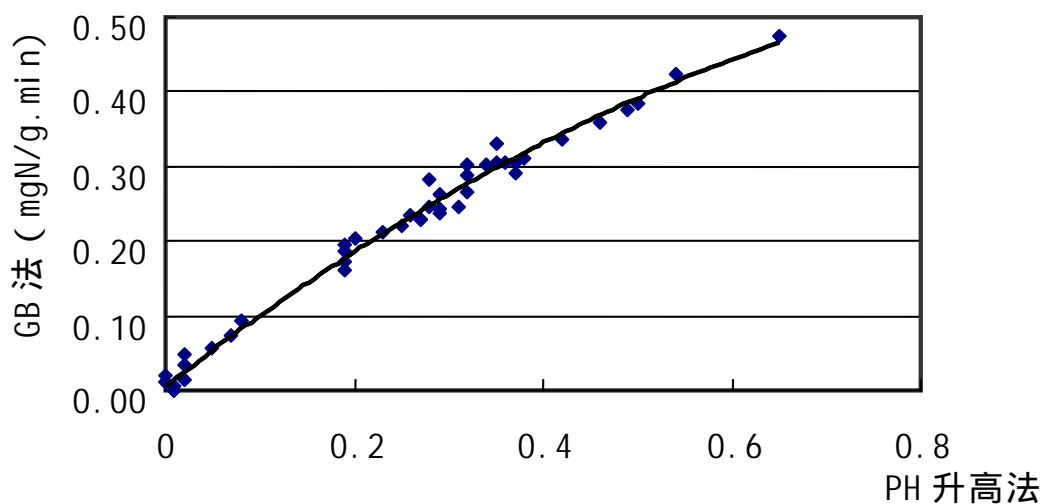


图 10 两种脲酶测定法结果

由测定结果得下述关系式：

$$Y = -0.425X^2 + 0.985X + 0.006$$
$$(R^2 = 0.989)$$

式中：X： pH 法测得的脲酶活性(pH 值)。适用范围：X>0。

Y：对应样品国标法（GB 法）测得的脲酶活性(mgN/mi n. g)。

两种方法的测定结果反映出，当样品的脲酶活性较低时（<0.2 mgN/mi n. g），两法测得的数值相似。当样品的脲酶活性较高时，则 pH 法测得的脲酶活性数值略高于国标法测得的值。

结 论

1) 大豆皮制粒是提高大豆皮容重的有效措施。颗粒大豆皮的容重可达 615 - 710 g/l，是未制粒大豆皮容重的 5-6 倍。

2) 实验室和工厂制得的颗粒大豆皮都能满足国家对颗粒饲料粉化率的要求。按国标法测定，实验室所制颗粒大豆皮粉化率为 1.6—6.8%，工厂所制颗粒大豆皮粉化率为 0.8—6.0%。

3) 入模水份是影响大豆皮制粒产量和电耗的重要因素。调质前提高大豆皮水份可将制粒产量从 2 t/h 提高到 8 t/h；电耗由 52kwh/t 降低到 13 kwh/t。

4) 大豆皮制粒过程有杀灭抗胰蛋白酶的功能，制粒温度越高，杀灭抗胰蛋白酶的能力越强。当颗粒出模温度达 98 时，抗胰蛋白酶杀灭率可达 62-66%。

5) 进行高温颗粒大豆皮的保温处理，能进一步杀灭抗胰蛋白酶。保持颗粒温度 98 40 分钟，抗胰蛋白酶杀灭率由 62-66%增加至 76—77%。

参考文献

1. 熊易强 去皮豆粕及其在饲料配方中的价值 饲料技术讲座文集 1998-1999 美国大豆协会 26-35。

2. Macgregor, C. A and F. N. Owen. 1976. Effect of increasing ration fiber with soybean mill run on digestibility and lactation performance. J. Dairy Sci. 59: 682-689。

3. 孟庆翔等 大豆皮替代产奶牛日粮精料中玉米与小麦麸对产奶性能和干物质与纤维消化特性的影响。American Soybean Association. FE13-99。
4. Anderson, S.J. et al. Digestibility and utilization of mechanically processed soybean hulls by lambs and steers. J. Anim. Sci. 1988. 66: 2965-2976。
5. Kunlke, W.E. et al. Effects of supplemental energy source and amount on forage intake and performance by steers and intake and diet digestibility by sheep. J. Anim. Sci. 1997. 75: 1918-1925。
6. Preston, R. L. Soyhull utilization in cattle (dairy and beef) and swine. American Soybean Association. 1999. 139-149。
7. J. T. Cole. et al. Soybean hulls as a dietary fiber source for dogs. J. Anim. Sci. 1999. 77: 917-924。
8. 过世东、赵建伟、李清招 米糠制粒 饲料工业 1999.1。
9. 沈慧乐、杨秀文 豆粕质量与脲酶活性和蛋白溶解度 饲料技术讲座文集 1998-1999 美国大豆协会 37-59。
10. Deschriever, R. An evaluation of the urease activity test for determining the quality of soybean oil meal. Vlaams Diergeneekd. Tijdschr. 1997. 46: 333-339。
11. 王璋 食品酶学 中国轻工出版社 1997. 238-246。
12. 于炎湖 饲料毒物附毒物分析 农业出版社 1992.10 52-54。