

测定高粱的加工程度和淀粉 可利用率的改进酶法¹

IMPROVED ENZYMATIC METHOD TO MEASURE PROCESSING EFFECTS AND STARCH AVAILABILITY IN SORGHUM GRAIN¹

熊易强², S.J.Bartle³, R.L.Preston³

摘 要

建立了一种测定蒸汽压片高粱(SFSG, steam-flaked sorghum grain 之缩写)的加工程度和淀粉可利用率的改进酶法。为了确定适宜的酶浓度、显色剂、沉淀剂、样品粒度、摇动次数及缓冲液 pH, 分别做了单项试验。测定了若干样品在不同反应时间(0 至 48h)所释放的葡萄糖量。

试样有: 未熟化高粱(UNC, uncooked 之缩写), 全熟化(100%糊化)高粱(CK, cooked 之缩写), UNC 与 CK 各 50%的混合物(C50), 还有 SFSG。UNC、CK 和 SFSG 的葡萄糖释放过程以一元回归方程表示, 其速率常数 K 与 r^2 分别为 0.119 与 0.98, 1.781 与 0.98, 0.368 与 0.99。C50 含有两个淀粉组分, 组分 1 具有快速率常数 2.624/h, 组分 2 具有慢速率常数 0.066/h($R^2 = 0.99$)。将 CK 与 UNC 以不同比例混合制成不同糊化程度的样品, 这些样品的葡萄糖释放量与淀粉糊化程度高度相关($r^2 = 0.99$)。调节磨辊间压紧度得到五种不同容重的 SFSG 样品, 容重在 476 ~ 283g/l 范围, 相应的辊磨电负荷在 21 ~ 51.5A 范围内, 酶法测定其葡萄糖释放量分别为 422、512、588、618、678mg/g, 与样品容重的相关性比双折射测定法更大。用这个改进的酶法测定淀粉可利用率更为简便、快速、灵敏, 故予以推荐。

前 言

蒸汽压片是提高高粱饲喂肉牛的可利用率的最常用措施。用来衡量加工程度

¹ 原发表于 J.Anim Sci.1990.68:3861—3870

² 中国北京农业大学访问学者

³ 美国德州理工大学动物科学系

的指标一直是容重、双折射减幅和淀粉的酶敏感度。容重测定具有简易、快速、省钱的优点，被生产上用作质量控制手段。但是，一定容重的样品其加工程度会因籽粒大小、水份、温度、蒸汽调制时间长短和磨辊磨损情况的不同而异(Karr,1984)。双折射分析法直接测定淀粉糊化程度，被用作蒸汽压片高粱(SFSG)加工中定期检测的指标。不过，双折射减幅这一指标可能并不灵敏(Rooney and Pflugfelder,1986)。SFSG 的容重通常在 283 ~ 373g/l 范围，以双折射法测定的淀粉糊化度在 50 ~ 60% 范围内(Karr,1984)。

有几种酶法一直被用来测定加工谷物的淀粉可利用率，但是都比较费时费钱(AFMA, 1976)，或者未曾与加工程度进行过定量的相关分析(Liang 等人, 1970；Osman 等人, 1970；Herrera-Saldana and Huber,1989)。

本项研究的目的是建立一个可供蒸汽压片加工作为常规质量控制的简易而灵敏的方法。

材料和方法

此法是用脱支酶(amyloglucosidase)将 0.2g 样品水解，然后用光度计测定葡萄糖与铜试剂或氰化铁的反应产物。详细操作列于附录。为建立这个方法做了五个试验；为验证这个方法做了三个试验。

试验 1

测定加工后粮谷的淀粉可利用率所用的酶有： α -淀粉酶、 β -淀粉酶、脱支酶、牛和猪的胰酶制剂(Liang 等人, 1970；Osman, 1970；AACC, 1971；AFMA, 1976；Herrera-Saldana and Huber, 1989)。本法选用脱支酶是因为其最终反应产物只有葡萄糖，从葡萄糖量可以计算出相当的淀粉量(MacRae and Armstrong,1968;Rooney and Pflugfelder,1986)；还有一个好处是脱支酶价格低廉。为确定适当的酶浓度，分别用 2、4、6、8、10、14、18、22、26mg 脱支酶*与 200mg 充分熟化的高粱样品(推测是 100%糊化)一起反应 1h，测定被葡萄糖还原的显色试剂的吸光率。

预先试验过用氰化铁和铜试剂作为测定还原糖的比色剂(Kingsley and Reinhold,1949；Henry,1964)。分光光度扫描显示氰化铁的吸收峰在 420nm，而氧化铜还原磷钼酸的产物(“钼兰”)的吸收峰在 810nm。最后确定两个方法都选用

* No.A-7255,12100 单位/g，Sigma Chemical Co.,St.Louis,MO.

420nm，因为 810nm 过于灵敏，只能允许用很少量样品，因而影响样品的代表性。常规血液葡萄糖分析也一直采用 420nm(Henry,1964)。在 420nm 和本法所用的葡萄糖浓度范围内(最终溶液的葡萄糖浓度是 0~3.6mg/100ml，相当于 0~875mg/g 样品)，两种方法的吸光度均遵循 Beer 法则。为了对两种比色剂进行比较，用了六种加工程度不同的高粱样品，分别用两种方法测定葡萄糖释放量，并对两种方法都作了方差分析(GLM；SAS，1985)加以比较。方差分析模型构成包括方法、样品、方法×样品。这项试验和其他同样安排的试验都用试验机误的均方差得出标准误。凡将处理间样品的方差作为机误项的试验均应得出同样的统计结论。

试验 2

为选择蛋白沉淀剂，用了四种加工程度不同的高粱样品对三种蛋白沉淀剂，即钨酸(AFMA，1976)、硫酸锌(Henry，1964)、硫酸镉(Kingsley and Reinhold，1949)作了比较，测定了过滤物特性和葡萄糖释放量。为了比较葡萄糖量，做了方差分析(GLM；SAS，1985)，模型包括沉淀剂、样品、沉淀剂×样品。

试验 3

为考察样品粒度对葡萄糖生成量的影响，将高粱样品磨碎到通过孔径 2mm 筛层，此为粗磨(CG)。将粗磨样品第二次磨碎到通过 1mm 筛层，此为细磨(FG)。对 CG 和 FG 样品都测定了葡萄糖释放量，做了方差分析(GLM；SAS，1985)，计算了 CV 值，以考察粒度的影响。

模型包括粒度与样品，将粒度×样品的互作项作为机误。

试验 4

为考察反应当中摇动次数对葡萄糖量的影响，用两种 SFSG 样品做了三种摇动次数的比较，即反应开始时摇动一次；在 1 小时反应时间中每 30 分钟摇动一次，共摇三次；每 15 分钟摇动一次，共摇五次。分别测定葡萄糖量。

试验 5

为考察在脱支酶反应期间缓冲液 pH 的轻微变化是否会影响葡萄糖量，加入乙酸或乙酸钠将缓冲液 pH 调整到 4.45、4.50、4.55，分别测定这三种缓冲液和两种 SFSG 样品的葡萄糖释放量(GLM；SAS，1985)。

试验 6

为研究葡萄糖释放的动力学，制备了四种高粱样品：1)未熟化磨碎高粱(UNC)；

2)全熟化高粱(CK),是将 0.2g UNC 置 25ml 试管中加入 15ml 缓冲液(参见附录),沸水浴熟化 1h,事先进行的试验表明煮沸时间超过 30min 即不再增加葡萄糖释放量,故熟化 1h 应视为充分熟化或 100%糊化;3)50 : 50 的 UNC 与 CK 混合料(C50);4)磨碎的 SFSG。

将以上四种样品水解不同时间:0、0.25、0.5、1、2、4、8、12、24、48h,测定其葡萄糖量,导入以下一元和二元方程式(NLIN; SAS, 1985): $Y = A(1 - e^{-kt})$; $Y = A_1(1 - e^{-k_1t}) + A_2(1 - e^{-k_2t})$ 。

试验 7

为研究葡萄糖释放量与糊化程度的关系,用 UNC 和 CK 以适当比例混合配制成两套糊化程度不同的样品:一套有六个样品,糊化程度分别为 0、20、40、60、80、100%;另一套有五个样品,糊化程度分别为 0、25、50、75、100%。将这两套样品分别水解 0.5 和 1h,测定其葡萄糖量。用葡萄糖数值与糊化程度做回归分析(REG; SAS, 1985)。

试验 8

为考察本测定法的精确度和灵敏度,通过调整磨辊间压紧度制作了五个容重不同的样品,其容重分别为:476、412、347、309、283g/l。蒸汽调制时间 40min,温度 96℃。取样时预先将磨辊温热,在不到 1 小时之内完成取样。制备样品时用安培计记录了辊磨负荷。将这些样品用本测定法做平行试验测定葡萄糖释放量和糊化程度。对葡萄糖数据做了方差分析(GLM; SAS, 1985),计算了试验内和试验间的 CV 值。模型包括:容重、试验、容重 × 试验。同时还在一个商业性实验室用双折射法(Snyder,1984)测定了样品糊化程度。酶法和双折射法都分别做了容重与测定值之间的回归分析(REG; SAS, 1985)。

结果与讨论

试验 1

被还原的氰化铁和铜试剂的吸收曲线(图 1)都表明 0.2g 全熟化高粱样品经 1h 水解获得最大葡萄糖释放量所需的最低酶用量是 10mg(或 120 单位)粗制脱支酶。据此将分析操作的酶用量定为 15mg。

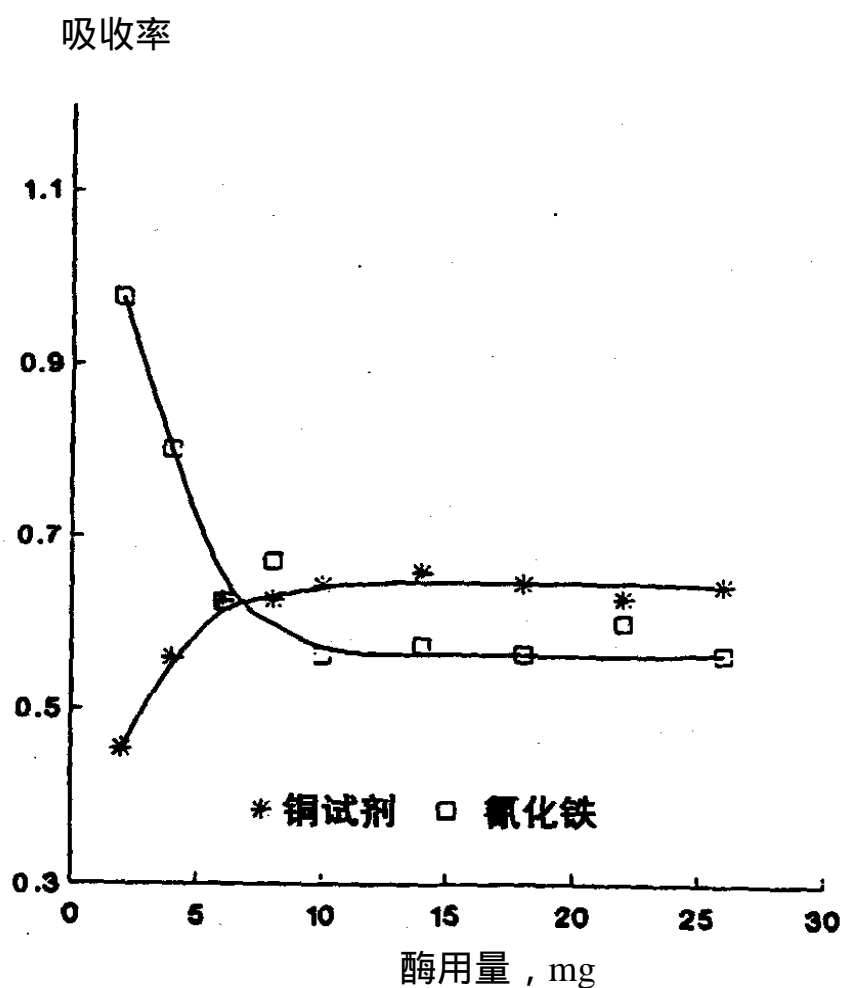


图 1 脱支酶用量与用铜试剂或氰化铁比色剂测定的吸收率 (葡萄糖量) 之间的关系 (试验 1)

表 1 列出用铜法或氰化铁法测试六种高粱样品所得的相应葡萄糖释放量。氰化铁法所得葡萄糖值总比铜法高一些($P < 0.01$)。其原因可能在于氰化铁的还原势较高,使一些非葡萄糖成分(如戊糖、葡糖醛酸)与氰化铁发生反应(Hiller 等人, 1925; Henry, 1964)。故将铜试剂定为首选。当以糊化程度(如试验 7)而不是以葡萄糖绝对值表示时,只要生成非葡萄糖还原性化合物的速率与葡萄糖释放速率相等,两种方法所得结果应当是一致的。用熟化高粱或非熟化高粱作试验样品考察葡萄糖释放量的差别都是可行的。氰化铁法具有试剂单一的优点,因此将氰化铁列为可替用试剂。

表 1 氰化铁法与铜法所得葡萄糖量的比较 (试验 1)

高粱样品	方 法		差 值
	氰化铁	铜试剂	
	——葡萄糖 mg/g 样品		
1	832	785	47
2	536	471	64
3	418	393	24
4	386	365	21
5	378	358	20
6	593	480	113
平均 ^a	523	475	48

^a 氰化铁法与铜法差异显著($P < 0.01$), $SE=10.1$

试验 2

用钨酸沉淀较慢，且过滤后滤液仍然混浊，说明沉淀不完全。用硫酸锌和硫酸镉都能立即沉淀，且滤液清沏，二者所得葡萄糖量没有差别($P > 0.2$ ，表 2)。结论是硫酸锌或硫酸镉都可作为本测定法的沉淀剂。

表 2 使用不同沉淀剂的葡萄糖释放量 (试验 2)

高粱样品	蛋白沉淀剂		差 值
	ZnSO ₄	CdSO ₄	
	——葡萄糖 mg/g 样品		
1	276	276	0
2	612	588	24
3	304	292	12
4	639	638	1
5	158	163	- 5
6	271	275	- 4
7	271	286	- 15
8	294	322	- 28
平均 ^a	353	355	- 2

^a $SE=3.2$, $P > 0.2$ 。

试验 3

从粗磨高粱试样和细磨高粱试样所得葡萄糖量列于表 3。粗磨试样所得葡萄糖值较低($P < 0.01$), CV 较高。故确定本法将试样进行细磨(通过 1mm 筛网)后分析测定。

表 3 样品粒度对葡萄糖释放量的影响(试验 3)

高粱样品	筛 网		差 值
	1 mm	2mm	
	——葡萄糖 mg/g 样品		
1	88	64	24
2	126	77	49
3	145	78	67
4	304	273	31
5	328	242	86
6	491	388	103
平均 ^a	247	187	60
CV ^b	4.6%	7.8%	

^a 粒度间有差异($P < 0.01$), SE=5.3

^b 样品内

试验 4

摇动次数对葡萄糖释放量的影响示于图 2。葡萄糖量先是随摇动次数增加而增加, 摇动三次以上葡萄糖量持平。因此确定本测定方法摇动 5 次(最初一次之后每 15 分钟摇动一次)。如改用一个持续摇荡装置可能更好。

试验 5

如表 4 所示, 在 pH4.45 ~ 4.55 范围, 脱支酶缓冲液的 pH 值对葡萄糖释放量没有影响($P > 0.2$), 据此将本法缓冲液 pH 值定为 4.5 ± 0.05 。

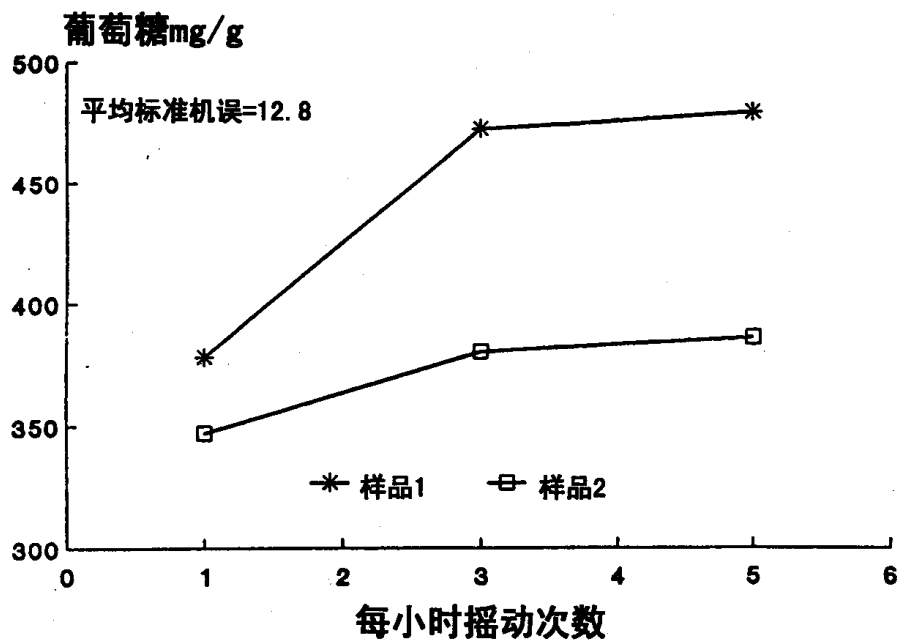


图2 水解中摇动次数与葡萄糖释放量的关系(试验4)

表4 pH对葡萄糖释放量的影响(试验5)

高粱样品	pH		
	4.45	4.50	4.55
	——葡萄糖 mg/g 样品——		
1	528	531	554
2	574	561	568
平均 ^a	551	546	561

^a SE = 8.4, P > 0.2。

试验6

水解时间对葡萄糖释放量的影响如表5所示。四种高粱样品的葡萄糖最大释放量(A、A₁、A₂)、速率常数(K、K₁、K₂)和测定系数都分别在一元模型或二元模型中列出。图3表现UNC、CK和SFSG三种样品的数据与一元模型的符合情况，图4表现C50样品的数据与一元模型和二元模型的符合情况。UNC、CK和SFSG的样品的葡萄糖释放量用一元方程式可以很好地表达(表5，图3)。用二元方程式时，SFSG的R²值并不升高。UNC和CK的A₂和K₂值都为0，可见符合情况与一元方程式是一样的(表5)。而C50对一元模型的符合度很差，其r²值和A值都比

观察的要低。用两种不同的淀粉来描述其水解过程则符合度明显提高($R^2=0.99$)，一种淀粉有快速率常数 $K_1=2.624/h$ ，另一种有慢速率常数 $K_2=0.0656/h$ (表 5，图 4)。这是因为 C50 是两种淀粉组分的混合物，UNC 是未糊化淀粉，而 CK 是 100% 糊化淀粉。SFSG 的淀粉消化动力学符合一元方程式，而淀粉粒并不是都以同一速率糊化的。因此 SFSG 可能含有糊化过程中各种糊化程度的淀粉粒。SFSG 的速率常数(0.368)较高，这意味着反刍动物对这种淀粉的消化速度和消化程度较高；而 UNC 的速率常数(0.119)较低，这意味着进入末端消化道和粪便的淀粉较多。以往一些研究也有类似结果(Theurer,1986，引述 Kartchner 1972 和 Garcia 等人，1981)。

表 5 高粱试验处理的葡萄糖释放动力学参数(试验 6)

处理 ^a	模 型									
	$Y = A (1 - e^{-kt})$				$Y = A_1 (1 - e^{-k_1t}) + A_2 (1 - e^{-k_2t})$					
	A,mg	K	r^2	Sy.x	A_1,mg	K_1	A_2,mg	K_2	R^2	Sy.x
SFSG	804	0.368	0.99	31	654	0.485	204	0.067	0.99	21
UNC	779	0.199	0.98	42	779	0.199	0	0	0.98	42
CK	786	1.781	0.98	41	786	1.781	0	0	0.98	41
C50	666	0.635	0.84	106	363	2.624	485	0.066	0.99	20

^a SFSG=蒸汽压片高粱，UNC=未熟化，CK=全熟化，C50=50:50 的 UNC 和 CK。

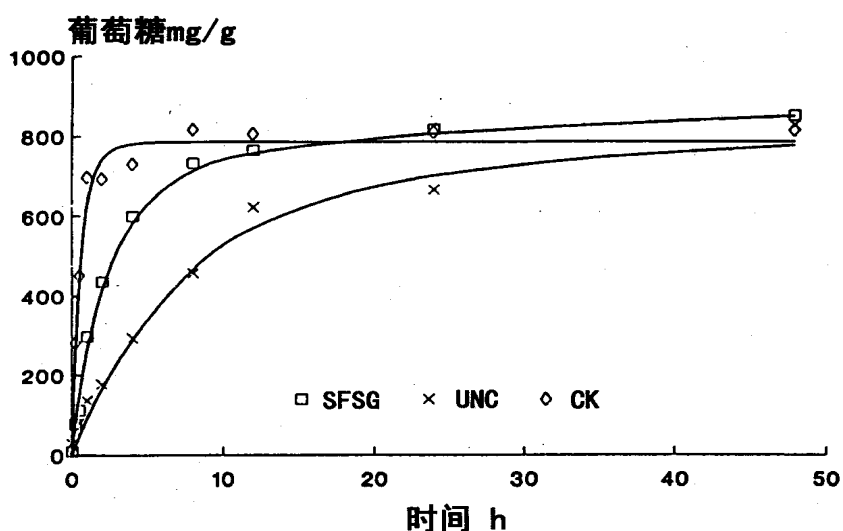


图 3 蒸汽压片高粱 (SFSG)、未熟化高粱 (UNC) 和熟化高粱 (CK) 的葡萄糖释放量数据与一元模型的符合情况 (试验 6)

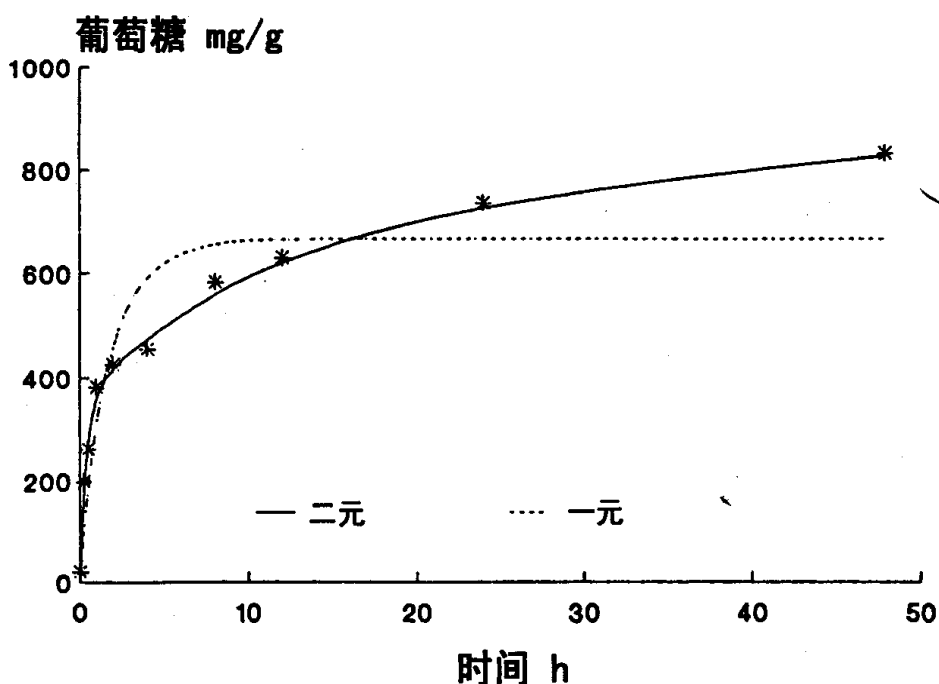


图4 C50 (未熟化与熟化高粱 50 50 混合) 的葡萄糖数据与一元模型和二元模型的符合情况 (试验 6)

试验 7

对一个由完全糊化的粮谷与生粮谷混合的样品,测定其酶促生成的还原糖量,来表示淀粉糊化程度,这是被谷物化学家承认的作法(A A C C, 1971; Atwell 等人, 1988)。图 5 表明,用未熟化高粱和充分熟化的高粱作试样,其糊化程度与葡萄糖释放量(无论水解 0.5 h 或 1 h)之间呈直线关系。鉴于 1 h 水解所得 r^2 值较高(0.99 与 0.91 之别),而且大样品量可减少测定误差,我们确定测定方法的水解时间为 1 h。根据这些数据来看,在用糊化度不同的样品作为标准时,“葡萄糖释放量”可以改用生产中更为常用的“糊化度”一词来表示。用葡萄糖释放量衡量的糊化程度只是对加工程度的一种相对表述,因为任何 SFSG 的葡萄糖释放量都会因水解时间长短不同而改变(见图 3 与图 5 的对比)。所以,把用熟化粮谷(如挤压加工的)与未熟化粮谷的混合料喂牛的结果外推为蒸汽压片粮谷的饲喂效果(Pope 等人, 1963; Debie and Woods, 1964; Wilson and Woods, 1966; Hale, 1973),可能是不现实的,即使熟化粮 / 未熟化粮的混合料与 SFSG 的糊化程度相同,它们的淀粉消化部位和程度以及淀粉利用情况也可能不同。如图 4 所示,一种混合料很可能有两组(而不

是一组)动力学参数。

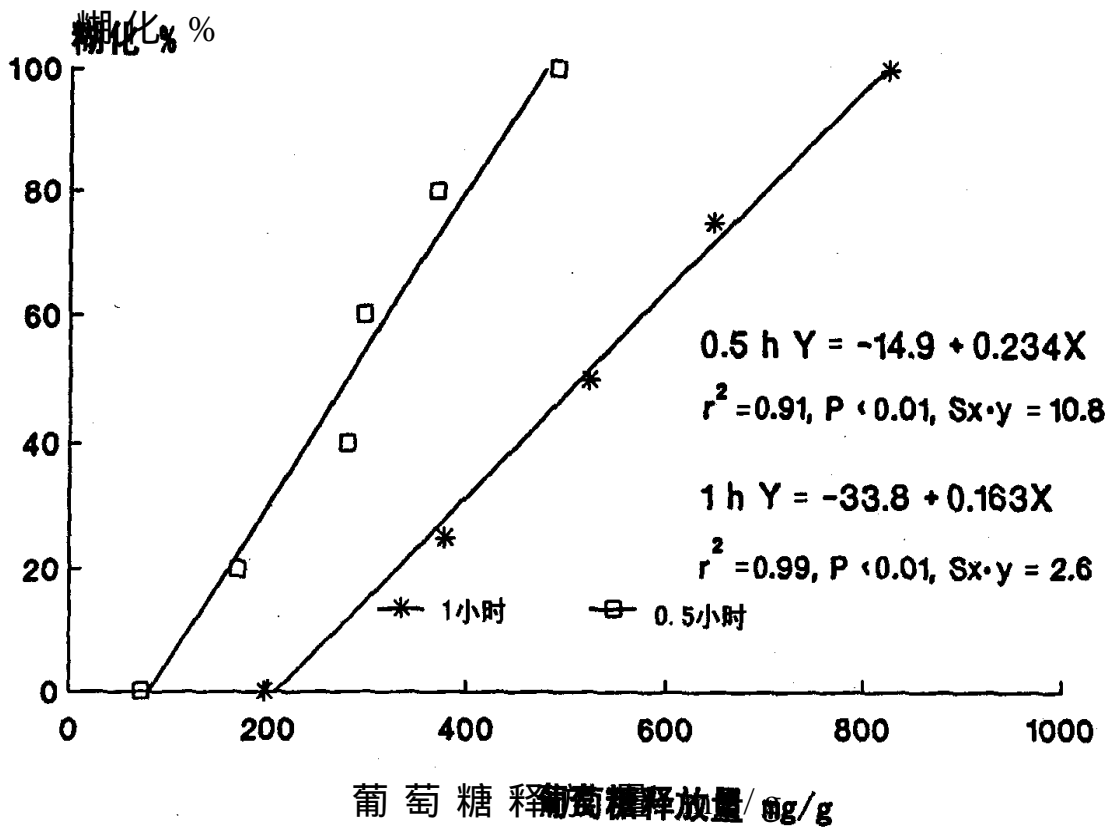


图5 0.5和1h水解后葡萄糖释放量与淀粉糊化度的关系(试验7)

试验8

这项试验记录了五个SFSG样品的辊磨负载,分别是21.0、28.0、35.0、47.5、51.5A,说明电力负荷也不同。蒸汽压片当中的动力消耗变动范围极大,说明加工成本差异悬殊。

五种容重不同的SFSG样品的酶促葡萄糖释放量数据方差分析表明,在容重与测定之间没有互作($P > 0.2$),没有测试效应($P > 0.2$),酶法的测试内和测试间CV分别为2.7和3.6%。用本项酶法和双折射法测定五个SFSG样品的葡萄糖释放量和糊化程度列于表6。用本项酶法与双折射法测定的葡萄糖释放量与糊化程度之间的相关系数分别是0.999($P < 0.01 =$ 和0.935($P < 0.05 =$ 。

表 6 加工程度(容重)对葡萄糖释放量和糊化度的影响(试验 8)

项 目	容重 g/l				
	283	309	347	412	476
葡萄糖释放量 ^a (mg/g)	678	618	588	512	422
糊化度(%) :					
酶法 ^a	67.8	59.8	56.1	44.4	29.9
双折射法 ^b	59.0	58.0	59.0	54.0	47.0

^a 线性(P < 0.001)。

^b 线性(P < 0.05)。

这项试验的所有样品都是用同一台蒸汽压片机在 1h 之内制备而成，一些其他变量(诸如粒度、水分、磨辊磨损)对加工程度的影响均可忽略。因此，容重应能直接反映加工程度。图 6 表示加工程度(容重)与两组测值之间的关系。从容重推算葡萄糖释放量的回归方程是：

葡萄糖 mg/g = 1022 - 1.26(容重, lb/bu^{*})(r² = 0.99, P < 0.001, Sy.x = 12.2)。从葡萄糖释放量推测糊化程度的回归关系是：糊化程度% = 120.0 - 1.87(容重, lb/bu^{*})(r² = 0.98, P < 0.001, Sy.x = 1.89)。从双折射测值推测糊化程度的回归方程是：糊化程度% = 77.6 - 0.061(容重, lb/bu^{*})(r² = 0.87, P < 0.05, Sy.x = 2.14)。由酶法测定值导出的方程式 r² 和斜率较大，说明用改进酶法估计加工程度的灵敏度和精确度比用双折射法要高。

来自不同饲料厂的 SFSG 样品，用以上两种方法测定糊化程度加以比较(图 7)，结果也说明，本项酶法可测的加工程度范围比双折射法要宽。

结 论

本研究建立了一个更为灵敏精确的改进酶法，用以测定高粱籽粒的加工程度。本法能直接测定淀粉可利用率；而其他方法(如容重)是间接测定法，还会受粒度、水分和磨辊磨损等因素影响。由于本项改进酶法是靠光度测定而不是化学滴定，所以比其他一些酶法需要的样品量要小，脱支酶用量也更省。本测定法更为省时(每人每天测 30 个样品)，还比其他酶法省钱。我们推荐将本测定法用于研究工作；高

高粱蒸汽压片加工时作为质量控制手段的容重测定也可用本测定法加以验证。

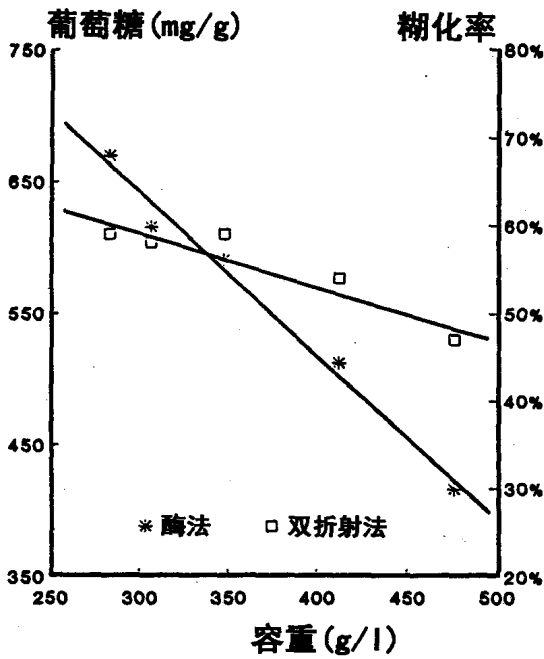


图6 加工程度(容重)与葡萄糖释放量和糊化率(用双折射法与改进酶法测定,试验8)的关系。

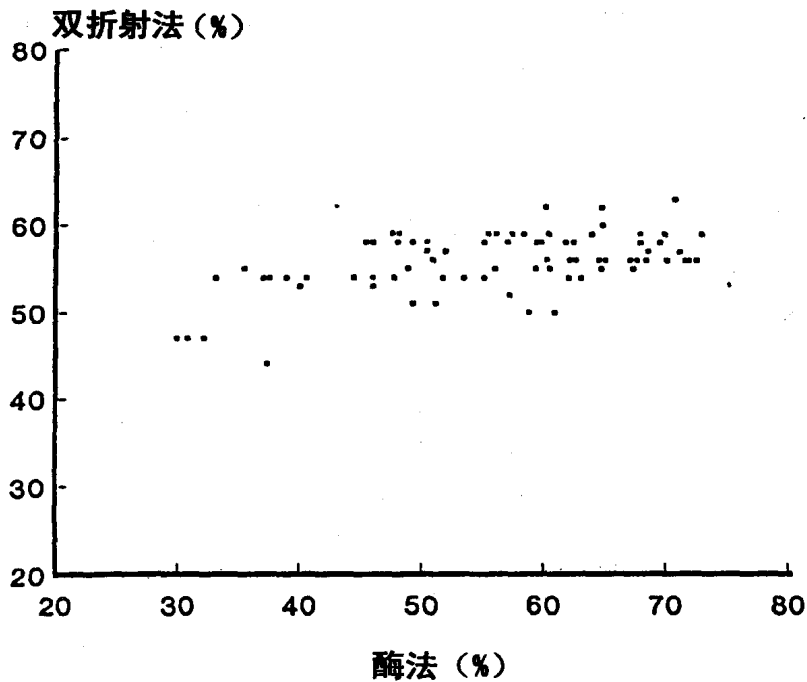


图7 用酶法测定蒸汽压片高粱的糊化率与用双折射法的对比(n=78)

* 经与原作者核对,原文(g/L)有误,现将容重单位更正为lb/bu。

附录：测定加工粮淀粉可利用率（或糊化程度）的操作规程

设 备

恒温水浴，分光光度计。

试 剂

缓冲液:将 3.7ml 冰醋酸和 4.1g 无水乙酸钠(或 6.8g $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)溶于大致 100ml 蒸馏水中，定容至 1 立升，必要时靠滴加乙酸或乙酸钠调整 pH 调至 4.5 ± 0.05 。

酶溶液:将 750mg 脱支酶(amyloglucosidase, Sigma, No A-7255, 浓度 12,100 单位/ml)溶于 50ml 蒸馏水。此溶液含粗制酶 15mg(或 180 单位/ml)测试当天配制。

蛋白沉淀剂：

1. $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，10% (w/v) 蒸馏水溶液。

2. 0.5N NaOH

(替用沉淀剂：1. 将 52g $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 和 254ml 1N H_2SO_4 溶于大致 400ml 蒸馏水，稀释至 1 立升。2. 1.1N NaOH)。

铜试剂：将 40g 无水 Na_2CO_3 溶于 1 立升容量瓶内大致 400ml 蒸馏水中，加 7.5g 酒石酸；溶解后加 4.5g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。混合并稀释至 1 立升。

磷钼酸试剂：取 70g 钼酸和 10g 钨酸钠，加入 400ml 10% NaOH 和 400ml 水。煮沸 20 ~ 40min 以驱赶 NH_3 。冷却，加蒸馏水至大约 700ml，加 250ml 浓的正磷酸 (85% H_3PO_4)，稀释至 1 立升。

(氰化铁 [0.01N] 替用试剂：溶解 3.3g 纯干的 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 和 4.4g 无水 Na_2CO_3 于 200ml 蒸馏水中，稀释至 1 立升。)

葡萄糖标准液：溶解 100mg 纯葡萄糖于 70ml 蒸馏水中，稀释至 100ml。测试当天配制。

操作程序

1. 称取 0.2g 细磨风干粮谷样品(通过 1mm 筛)置 25ml 刻度试管中，加 15ml 缓冲液。再加 1ml 酶溶液，在 40℃ 水浴中保温 1h，起初摇动一次，以后每 15min 摇动一次。

2. 保温达 1h 时，加 2ml 10% $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，混匀，再加 1ml 0.5N NaOH。用水稀释至 25ml，混匀，过滤(用 Whatman[#]40 滤纸)。

(替代法：加入 2ml CdSO_4 溶液，1ml 1.1N NaOH, 过滤。)

3. 吸取 0.1ml^{*}滤液和 2ml 铜试剂置于 25ml 刻度试管中。

4. 将该试管置沸水浴中 6min, 保持沸腾，加 2ml 磷钼酸试剂，继续加热 2min。

5. 用自来水令试管冷却。加蒸馏水稀释至 25ml，倒管使之混匀。

6. 用分光光度计在 420nm 读取吸收值。从同样制作的葡萄糖标准曲线上得出葡萄糖值。氰化铁替代法：铜试剂和磷钼酸剂可以改用 5ml 0.01N 氰化铁溶液代替，在沸水中加热时间改为 20min。

7. 葡萄糖标准曲线：吸取 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6ml 标准葡萄糖溶液(1mg/ml)分别置于各有 2ml 铜试剂的试管中。按第 3 至第 6 步骤得出葡萄糖标准曲线。这些试管分别代表每克样品含葡萄糖 0、125、250、375、500、625、750mg 的浓度。

氰化铁替代法：在使用氰化铁溶液作为比色剂时，分别将 0、0.15、0.30、0.45、0.60、0.75、0.90ml 葡萄糖标准液加到 5ml 氰化铁溶液中，分别代表与上述相同的葡萄糖浓度。

附 注

为了用糊化度表示淀粉可利用率，将同样来源的未加工的磨碎粮谷样品 0、50、100、150、200mg 分别在 25ml 刻度试管中与 15ml 缓冲液混合。将试管放沸水浴中经 1h。然后，给上述试管分别加入 200、150、100、50、0mg 未加工的磨碎粮谷样品，混匀。这些混合材料分别代表 0、25、50、75、100% 糊化度。按第 1 至第 6 操作步骤得出糊化度标准曲线。

(刘瑞征 翻译)

* 经与原作者核对，当采用氰化铁代替法时，应吸取 0.15ml 滤液。

参 考 文 献

- AACC. 1971. Cereal laboratory methods. Method 22-15. Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN.
- AFMA. 1976. Formula feed manufacturing technology. pp544-545. Am. Feed Manufacturer Assoc., Arlington, VA.
- Atwell, W. A., L. F. Hood, D. R. Lineback, E. Varriano-Marston and H. F. Zobel. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World* 33:306.
- Debie. W.H.and W.Woods1964. Rumen fermentation and animal performance as influenced by gelatinized corn and enzyme supplementation. *J. Anim. Sci.* 23:872(Abstr.) .
- Hale, W. H. 1973. Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. *J. Anim. Sci.* 37:1075.
- Herrera-Saldana, R. and J.T.Hubor. 1989. Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72:1477.
- Henry, R.J. 1964. *Clinical Chemistry - Principles and Techniques*. pp 625-652. Harper & Row, New York.
- Hiller, A, G. C. Linder and D. D. Van Slyke. 1925. The reducing substances of the blood. *J. Biol. Chem.* 64:625 .
- Karr, M. L. 1984. Grain processing techniques and quality control. In: *Proc. Feed Grains Utilization Symp. (for Feedlot Cattle)*. Texas Tech Univ., Lubbock.
- Kingsley, G. R. and J. G. Reinhold. 1949. The determination of true glucose in blood by reduction of ferricyanide. *J. Clin. Med.* 34:713.
- Liang, Y. T., T. J. Morrill, F. R. Anstaett, A. D. Dayton and H. B. Pfost. 1970. Effect of pressure, and cooking time on susceptibility of corn or sorghum grain starch to enzymatic attack. *J. Dairy Sci.* 53:336.
- MacRae, J. C. and D. G. Armstrong. 1968. Enzyme method for determination of α -linked glucose polymer in biological material. *J. Sci. Food Agric.* 19:578.
- Osman, H. F., B. Theurer, W. H. Hale and S. M. Mehen. 1970. Influence of grain processing on in vitro enzymatic starch digestion of barley and sorghum grain. *J. Nutr.* 100:1133.

Pope, L. S., O. F. Harper and G. K. Walter. 1963. Steam-heated (pregelatinized) milo for fattening beef cattle. Oklahoma Agric. Exp. Sta. Misc. Publ. 70.

Rooney, L. W. and R. L. Pflugfelder. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. J. Anim. Sci. 63:1607.

SAS. 1985. SAS User's Guide: Statistics. SAS Inst., Inc., Cary, NC.

Snyder, E. M. 1984. Industrial microscopy of starches. In: R. L. Whistler, J. N. BeMiller and E. F. Paschall (Ed.) Starch Chemistry and Technology (2nd Ed.). pp661-673. Academic Press, New York.

Theurer, C. B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. J. Anim. Sci. 63:1649.

Wilson, B. and W. Woods. 1966. Influence of gelatinized corn on beef animal performance. p 20. Nebraska Beef Rep. Univ. of Nebraska, Lincoln.