

乳糖不耐症과 乳糖分解乳製品

서울牛乳協同組合 製品開發課 趙 天 英

序 論

牛乳의 炭水化合物中 99.8% 以上은 乳糖이며 以外에 極히 微量의 포도당을 비롯하여 몇가지 糖類가 存在한다.

乳糖이 多量으로 存在하는 곳은 포유動物의 乳汁 뿐이며 乳汁特有的 糖이라고 할 수 있다.

牛乳中の 乳糖含量은 4.4~5.2%로서 平均 4.8%이고 母乳의 乳糖含量은 平均 7%로서 牛乳보다 훨씬 높다.

牛乳의 甘味는 모두 乳糖에 依한 것이며 設糖의 約 1/2에 不過하다.

乳糖도 다른糖과 마찬가지로 1g당 4칼로리의 熱量을 내어 牛乳 및 乳製品의 營養價値에 기여하는데 牛乳 總칼로리의 25%를 차지하고 있다.

그러나 乳糖은 칼로리源外에 其他糖과 다른 生理的 意義를 가지고 重要한 役割을 한다.

乳糖은 胃에서는 거의 變化를 받지않고 腸管에도 달하는데, 다른糖에 比해서 腸管에서도 加水分解받기 힘들고 또한 吸收速度도 느린 것이 特徵이다.

腸管에서 吸收되지 않고 남은 乳糖은 腸內微生物에 依해서 利用되어 酸을 生成하고 이것때문에 有害한 細菌의 增殖을 억제하는 소위 整腸作用을 하며 칼슘 등의 無機物의 吸收를 促進한다.

설탕, 포도당, 가락토스, 과당과 같이 吸收速度가 빠른 糖은 칼슘 등의 無機物의 吸收에 영향을 주지 않지만 乳糖, 셀로비오스와 같이 吸收가 느린 糖은 칼슘 등의 無機物吸收를 促進한다.

또한 乳糖은 칼슘以外에 마그네슘, 바리움, 스트론튬, 라이움, 아연, 인 등의 吸收를 促進하고 콜레스테롤의 吸收와 分解作用에 影響을 준다고 한다.

그런데 牛乳를 飲用하지 않던 사람이 牛乳를 마시면 gas가 차고 설사가 난다고 하는 경우가 있는데, 옛날에는 食事性 allergy에 依한 것이라고 생

각하기도 하였으나 오늘날에는 牛乳中에 含有된 乳糖을 消化할 수 없기때문에 일어난다는 것을 알게 되었다.

따라서 lactose intolerance(乳糖不耐症)이란 어떠한 것이며 牛乳中の 乳糖을 lactase(β galactosidase)로 加水分解시킨 새로운 타입의 牛乳製品에 關해서 알아보기로 하자.

1. 牛乳不耐症과 乳糖不耐症

건강한 사람도 牛乳를 마시면 몇분 또는 數時間後에 복통, 구토, 설사 등의 증상이 일어나는 사람이 있는데, 牛乳를 마시지 않으면 이런 증상은 自然的으로 없어진다.

이와같이 牛乳를 마시지 않던 사람이 牛乳를 마셨을 때 일어나는 증상을 牛乳不耐症(milk intolerance)이라 한다.

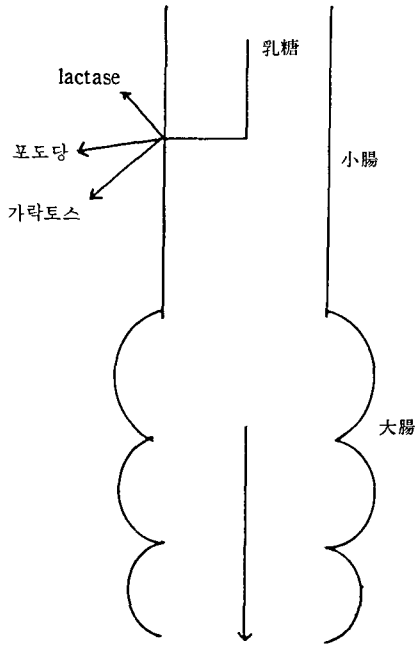
牛乳不耐症의 原因으로서는 蛋白質, 脂肪 등의 牛乳成分에 依한 것으로 생각되며 다른 食品을 섭취하였을 때 일어나는 것과 같은 allergy에 依한 것으로 牛乳를 마셔서 일어나는 경우는 極히 드물다.

牛乳를 마시고 일어나는 症狀의 大部分은 牛乳中の 乳糖을 消化할 수 없기 때문에 일어나는데 이때의 症狀를 乳糖不耐症이라 하며 牛乳不耐症과는 區別된다.

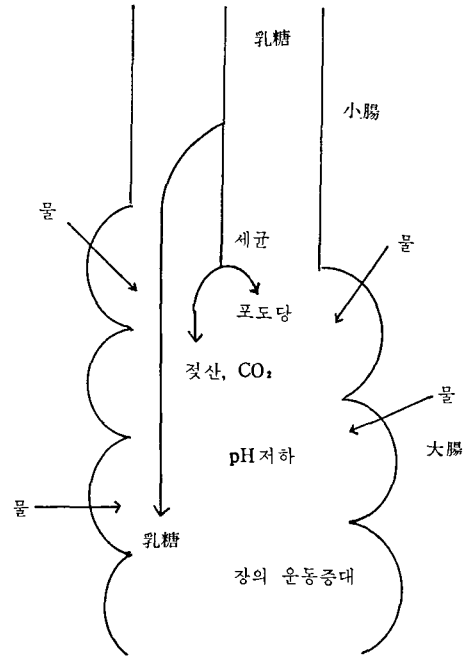
2. 乳糖不耐症이 일어나는 原因

乳糖은 2糖類로서 小腸에 存在하는 酵素인 lactase의 作用을 받아 포도당과 galactose로 分解된 單糖類의 形態로서만 吸收된다.

牛乳를 마시고 난後 gas가 차고, 설사 복통이 일어나는 것은 小腸粘膜上部的 乳糖分解酵素(lactase)가 결핍되어있어 牛乳中の 乳糖이 小腸內에서 分解吸收되지 않고 大腸으로 내려가 大腸內에 乳糖濃도가 높아지면 삼투압이 높아져 水分이 大腸內로 吸收되어 水分과잉이 되고 또한 乳糖이 大腸內의 腸



정 상 면



실 사 면

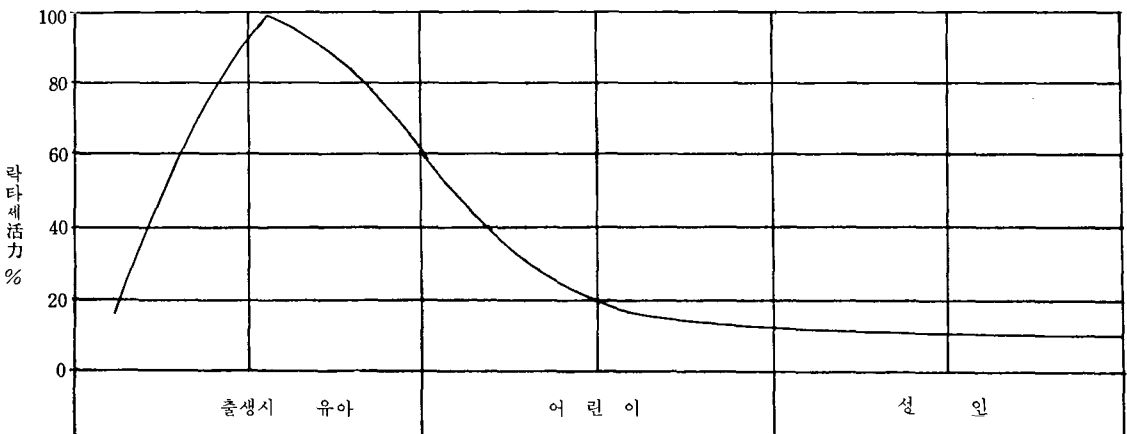
内微生物에 依해서 醱酵되어 젖산과 炭酸 gas를 發生시켜 大腸内の pH를 低下시키고 同時に 腸을 자극하여 大腸의 運動을 격렬하게 한다(그림 참조).

大部分의 사람의 lactase 活性은 갓 태어났을 때가 最高에 達하며 離乳後에 乳糖不耐症이 없는 正常의 인 사람도 lactase 活性이 減少하는데 40~50才에 大部分의 사람에게 나타나며 lactase 活性의 減少는 뼈대의 石灰質化에 重要한 要因이 있다고 推測하고 있다.

lactase 活性에 異常이 있는 경우를 그룹으로 나누어 보면 다음과 같다.

第 I 그룹~아주 드문 경우로서 先天的인 疾病으로 因하여 태어날 때부터 lactase 活性이 없는 경우로서 심각한 위장장애가 있어 即時 乳糖이 含有되지 않은 다른食品으로 代替하지 않으면 致命的이다.

第 II 그룹~早熟하게 태어나 lactase 活性이 너무 微弱한 경우로서 大部分 2~3개월內에 lactase 活性이 完全히 回復된다.



第Ⅲ그룹~離乳期에는 lactase 活性이 存在하나 2~5才 사이에 점차적으로 活性이 減되된다.

이런 경우에는 離乳期後에도 계속해서 牛乳를 마시게 하면 lactase 活性이 存在한다.

先天的으로 乳糖不耐症인 경우는 極히 적으며 離乳後에 lactase 活性이 低下되어 乳糖不耐症으로 되는 경우가 大部分이며 이런 경우 人種, 環境, 食生活 등에 따라서 乳糖不耐症으로 되는 比率은 相當히 다르다.

乳糖不耐症이 아닌 사람도 一時的으로 lactase 活性이 低下되어 乳糖不耐症의 症狀으로 되는 경우가 있는데, 바이러스감염에 의한 감기증상, 세균감염에 의한 장염, 소화기질환, 항생物質等的 藥物복용 등이 原因이 될 수 있다.

또한 新生兒, 未熟兒, 乳兒실사의 直接的인 原因中 相當部分이 여러가지 原因으로 因한 乳糖消化障礙때문에 일어난다는 사실이 最近의 研究結果에서 밝혀지고 있다.

3. 乳糖不耐症의 진단과 檢査法

乳糖不耐症인지 아닌지를 判別할 수 있는 가장 간단한 方法은 牛乳 1~2合을 마시고 gas가 차고, 복통, 설사가 일어나는 경우에 lactase 製劑를 복용하여 症狀이 나아지면 그 사람은 乳糖不耐症이라고 진단된다.

徵候의 診斷을 보증하는 檢査法으로서는 小腸粘膜의 lactase 活性을 測定하여 活性值가 5單位程度면 不耐症이고 正常者의 경우는 9單位의 活性을 가지고 있다.

또 한가지 方法으로서 乳糖을 公복시에 投與하여 血糖值를 測定하는 方法으로 血糖值가 20mm/100ml 以上으로 上昇하지 않는 경우는 不耐症이다.

4. 乳糖不耐症의 발생빈도

一般的으로 蛋白質섭취량이 적은 사람들이 乳糖을 받아들이지 않는 體質인 경우가 많다고 한다.

따라서 酪農乳製品을 오래前부터 많이 섭취하고 있는 歐美人에게는 乳糖不耐症이 적고 아시아, 아프리카人에게는 많다.

世界人口의 約70%를 乳糖不耐症으로 보는 報告도 있는데, 美國의 白人은 8%, 美國內 黑人은 40~80%, 東部아프리카 黑人은 75%, 西部아프리카 黑人은 98%로 推定하고 있으며 日本의 경우는 外國文獻에 90%程度라고 報告되어있으나 日本에서 報告된 것은 20~30%라고 생각하고 있다.

대체로 酪農先進國의 경우는 15%以下로, 에스키

모스이나 아시아, 아프리카人은 90%로 報告되어 있다.

우리나라의 경우는 調査研究結果가 전혀없는 狀態이나 都市地域과 農村地域間에는 差異가 있을 것으로 推定되며, 日本의 경우보다는 더 높을 것으로 생각된다.

5. 乳糖分解酵素

乳糖을 加水分解하는 lactase (β -galactosidase)는 *Saccharomyces fragilis*와 같은 乳糖발효성 효모, *Escherichia coli*와 젖산균과 같은 유당발효성 박테리아 등에서 얻을 수 있다.

lactase의 工業的生産에 適當한 미생물종 대표적인 2가지는 다음과 같다.

酵母인 *Saccharomyces lactis*로부터 生産되는 lactase의 最適 pH는 6.8~7.0이며, 安定한 pH 範圍는 6.0~8.5, 最適溫度는 35°C로서 牛乳處理(pH 6.6)와 Sweet whey(pH 6.2)의 處理에 適當하다.

또 곰팡이인 *Aspergillus niger*로부터 生産되는 lactase의 最適 pH는 4.0~4.5, 安定한 pH 範圍는 3.0~7.0, 最適溫度는 55°C로서 acid whey의 處理에 適當하다.

乳糖의 甘味는 설탕의 約 $\frac{1}{2}$ 程度이나 乳糖이 分解되면 포도당과 galactose로 되는데 포도당의 甘味는 설탕의 約70%의 甘味를 가지고 있으므로 乳糖이 分解되면 原來的 糖보다 約3倍의 甘味를 가지게 된다.

6. lactase 處理牛乳의 역사

乳糖을 加水分解한 牛乳製造試驗 1954년에 美國의 스티븐슨에 依해서 最初로 行하여졌는데 이 方法은 牛乳에 酵母인 *Saccharomyces fragilis*를 直接加하여 酵母가 가지고 있는 lactase를 利用한 것으로 製品中에서 酵母냄새가 強하여 商品化하지 못하였다.

그後 1970년에는 Italy의 로타가 lactase를 牛乳에 添加하여 乳糖을 分解한 後에 멸균 또는 살균하는 方法을 발표하였다.

그러나 이 方法도 lactase의 價格이 비싸서 製品價格의 上昇으로 商品化하지는 못하였다.

1976년에 Italy에서 lactase를 물에 녹지 않는 형태로 만들어 효소본래의 촉매로서의 機能을 充分히 발휘하면서 코스트를 낮추는 研究가 行하여져 企業化에 成功하여 現在 Italy의 센트럴·드로·랏테社가 이 方法을 生用하고 있다.

이 方法에서는 lactase를 여러번 반복 사용할 수

있다는 점에서는 大端히 經濟的이지만 固定化된 酵素의 活性을 低下시키지 않는 洗滌이 必要한데 이렇게 하기 위해서는 抗生物質이나 第4 암모늄염 등을 使用하므로 이들 藥劑가 牛乳에 移行되지 않도록 細心하게 管理되어야 하는 等의 技術의 確立이 必要하다.

한편 Sweden 에서는 牛乳를 滅菌後에 少量의 lactase 를 無菌的으로 添加하여 保存性이 있는 long life milk 의 特徵을 利用하여 製品의 保存中에 作用을 시키는 方法으로 룬드大學과 테트라팩社의 共同研究로 開發되어 1977年 發表되었다.

이 方法은 最近 Tetrapack International AB 社에서 採用하여 이 加工方法으로 인도네시아, 말레시아의 學校給食에 充分히 檢討되어 좋은 結果를 얻어 營養失調狀態에 있는 第3世界의 사람들에게 乳糖消化問題를 일으키지않고 供給될 수 있다는 點에서 크게 注目을 받고 있다.

7. lactase 處理牛乳의 製造方法

現在까지 商業的으로 生産可能한 方法은 다음 세 가지가 있다.

(1) 直接添加方法(Batch 法)

牛乳에 直接 lactase를 添加하여 乳糖을 加水分解시킨 後에 殺菌 또는 滅菌처리하여 充填하는 方法으로 이 方法에서는 牛乳中の 乳糖을 어느程度 分解시킬 것인가에 따라서 lactase 添加量, pH 條件, 作用時間等이 決定된다.

	효소 활성도/1kg 우유 또는 헤이		
	2,000 활성단위	4,000 활성단위	8,000 활성단위
加水分解 %			
1	22	30	40
2	36	55	65
3	53	70	80
4	63	80	90
5	71	85	94
6	76	90	96

(온도 : 30°C, 유당함량 : 4.6%, pH 6.8, 조용히 교반)

효소분해처리에 牛乳를 부패하기 쉬운 溫度로 長時間 維持한다는 것은 製品의 品質이나 作業上 困難하다.

따라서 短時間處理가 바람직하지만 이렇게 하기 위해서는 添加酵素量을 增加시킬 必要가 있으나 酵

온도 °C / 처리시간	6	23	30	37
1			18	22
2			29	38
3	10	26	39	51
4			48	60
5			55	68
6	21	44	61	75
24	48	80		
30	54			

- 試料 : 乳糖含量 5%의 殺菌牛乳(pH 6.6)
- 효소량 : 500 NLU(neutral lactase units)/1ℓ
- 처리시 서서히 교반

素는 價格이 비싸므로 實用性에서 問題가 된다.

이러한 短點을 解決하기 爲해서는 신선하고 微生物學的으로 品質이 우수한 原料乳를 選擇하여 使用하고 처리時間과 처리溫度도 고려할 必要가 있다.

Thompson과 Brower(1976)의 研究報告에 依하면 殺菌한 牛乳 또는 脫脂乳에 Saccharomyces lactis의 lactase를 0.03% 添加하여 32°C로 계속교반하면 2.5時間 維持하거나 0.015%를 添加하여 4°C에서 16~18時間 維持하여(분해율 90~95%) 이를 그대로 飲用하거나 다른 乳製品으로도 加工할 수 있었다고 한다.

(2) 固定化酵素法

酵素는 물에 녹으므로 直接添加法에서는 1회밖에 使用할 수 없으므로 非經濟的이다.

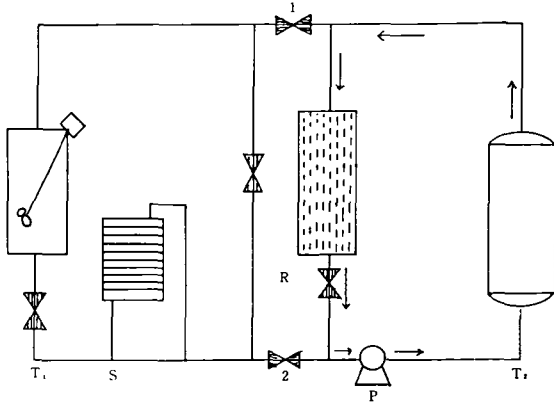
酵素를 물에 녹지않는 抗体에 吸着시키거나 또는 효소보다 더 微細한 材料로 싸서 겔술로 만들어 酵素가 물에 녹지않도록 固定化하면 여러번 反復使用할 수 있어 經濟的이다.

lactase를 固定化하는 方法은 現在 많은 研究가 行하여지고 있으며 더욱 性能이 우수한 方法이 開發될 것으로 생각된다.

효소의 活性은 실험에 의하면 50回 使用後 低下한다고 하며 損失은 9%정도라고 한다.

이 方法은 相當히 經濟的이지만 결점은 全乳乳의 경우는 column을 순환하는 사이에 지방이 효소表面에 부착하여 酵素의 活性部位가 피복되어 乳糖과 lactase의 접촉이 不充分하게 된다.

이러한 것을 피하기 爲해서 Cream과 脫脂粉乳를 分離한 다음에 脫脂乳를 固定化法으로 處理한 後에 다시 cream을 섞어준다.



- T₁ : 교반탱크(세제 및 우유용)
- S : 멸균기
- R : 고정화효소칼럼
- P : 순환용 펌프
- T₂ : 저유탱크
- 1, 2 : 밸브

〈그림 : 固定化酵素에 의한 방식例〉

(3) 테트라 방식

멸균후에 少量의 lactase를 무균적으로 첨가하여 無菌充填包装한 다음 製品中에서 乳糖이 分解되게 하는 방식이다.

이 방법은 스웨덴의 룬드大学和 테트라팩의 共同開發된 새로운 方法으로 long life milk의 제조장치의 멸균기다음에 효소를 無菌여과하여 첨가하는 方法이다.

이 방법은 5~10mg/l (50~100單位/l)의 락타제를 使用하여 7~10日程度 分解시켜 出荷하는 方法으로 直接添加法의 1/10~1/5의 효소량으로 절약할 수 있어 大端히 경제적이다.

그러나 加水分解率이 一定한 製品을 만든다는 点에서는 問題點이 있다.

8. 乳糖分解率의 測定方法

lactase處理牛乳中의 乳糖이 어느程度 分解되어 있는가를 測定할 必要가 있으며 品質管理上 신속한 方法이 要求된다.

가장 簡單한 方法은 分解되면 糖度가 增加하므로 官能檢査로서 判定할 수 있으나 定確性이 없다.

(1) glucose-oxydase와 peroxidase의 두가지 酵素를 利用하여 發生하는 H₂O₂를 色素存在下에서 分解하여 生기는 酸化色素를 比色定量하는 가장 一般的인 方法으로서 포도당生成量으로부터 測定하는 方法으로 所要時間은 50分程度이다.

(2) 偏光度를 測定하는 方法

(3) gas chromatography에 依한 方法

(4) Tauber kleiner에 依한 乳糖存在下에서 포도당과 galactose 合計量의 比色法.

(5) pH미터와 自動滴定장치에 依한 glucose oxi-

dase로 生成하는 gluconic acid의 가성소다적정법.

(6) 最近에 乳糖이 加水分解되면 포도당과 가락토스가 單糖類가 生成되면 分子量에 變化가 생겨 이것이 우유의 빙결점을 强하시키므로 미리 糖의 分解度와 빙결점의 相關關係를 求하여 놓고 이것으로부터 分解率을 測定하는 方法이 開發되었는데 所要時間은 5分程度이다.

9. 乳糖分解牛乳의 外國動向

●美國 : Lact Aid라는 低乳糖牛乳가 市販되고 있으며 特히 最近에 各광을 받고 있는 ultrafiltration과 연결하여 whey를 利用한 whey syrup 등의 製造에 많은 研究를 行하고 있다.

美國에서는 lactase(효소) 自体를 GRAS(generally recognized as safe)로 취급하고 있다.

●Italy : Milan에 있는 Central dairy는 Accadi라는 이름의 乳糖分解 UHT milk를 市販하고 있는데 보통 UHT牛乳보다 30%程度 비싸다고 한다.

●日本 : 雪邦乳業에 1978年 아까디 低脂肪牛乳를 발매하였고, 1981年 아까디牛乳(乳脂肪 3.2%, 無脂乳固形分 8%)를 발매하였는데 價格은 보통牛乳보다 20%程度비싸다.

이외에 南日本酪農, 四國乳業에서도 生産販売하고 있으며 乳糖分解牛乳의 市場占有率은 牛乳全體의 約 0.8%程度로 推定하고 있다.

10. 乳糖分解牛乳의 乳製品으로서의 利用

○발효유제품 : 체다치스의 제조시간을 25%정도 단축시키고 aging time을 30%程度 단축시킨다고 한다.

요구르트의 응고시간을 단축시키고 甘味를 增加시켜준다.

○加水分解 whey의 利用

whey를 分解시켜 포도당·가락토스 시럽을 제조하면 설탕대체효과가 있으며 아이스크림믹스에 넣어 甘味를 增加시키고 저장중 乳糖이 析出되지 않아 牛乳固形分을 높일 수 있다.

캔디, 과자, 빵等に 使用하면 카라멜화가 잘되고 甘味를 增加시킬 수 있다.

또한 잼, 제리, 청량음료, whey연유等に 利用할

수 있다.

●연유제조: 乳糖의 析出을 防止할 수 있고 甘味를 增加시키며, 가당연유의 경우에는 설탕을 절약할 수 있다.

○乳糖分解 全脂, 脱脂粉乳도 製造할 수 있는데 乳糖分解牛乳의 분무건조時에는 건조실 内部벽에 잘 붙는다고 한다.

◇

Weight and Specific Gravity of Metals

	Specific Gravity, Approximate Mean Value	Weight per Cubic Foot, pounds	Weight per Cubic Inch, pounds
Aluminum	2.67	166.5	0.063
Antimony	6.766	421.6	0.2439
Brass, copper and zinc			
80 20	8.60	536.3	0.3103
70 30	8.40	523.8	0.3031
60 40	8.36	521.3	0.3017
50 50	8.20	511.4	0.2959
Bronze { copper 95 to 80	8.853	522.0	0.3195
tin 5 to 20			
Cadmium	8.65	539.0	0.3121
Gold, pure	19.258	1,200.9	0.6949
Copper	8.853	552.0	0.3195
Iron, cast	7.218	450.0	0.2604
wrought	7.70	480.0	0.2779
Lead	11.38	709.7	0.4106
Magnesium	1.75	109.0	0.0641
Mercury {	32°C	849.3	0.4915
	60°C	846.8	0.4900
	212°C	834.4	0.4828
Nickel	8.8	548.7	0.3175
Platinum	21.5	1,347.0	0.7758
Silver	10.505	655.1	0.3791
Steel	7.854	489.6	0.2834
Tin	7.350	458.3	0.2652
Zinc	7.00	436.6	0.2526