

炭水化物和 脂肪의 生理學的 및 營養學的 機能

서울대학교 農科大學

韓 仁 圭·尹 德 鎮

Physiological and Nutritional Function of Carbohydrates and Lipides

In K. Han and D.J. Yun

College of Agriculture, Seoul National University, Suwon 170, Korea.

1. 重要性

(1) 炭水化物

① 自然界에 가장 널리 分布되어 있으며 生活現象에 필요한 제일 값싼 Energy源이다.

② Energy源으로 쓰여지고 남는 것이 있을 때는 體脂肪으로 蓄積되고

③ 약간은 非必須아미노산 합성에도 쓰인다.

④ 體內에서는 血糖 및 glycogen의 形態로 肝이나 筋肉에 약간 남아있어 必要時 곧 分解되어 energy로 쓰여진다.

⑤ 生體內에서 核酸, 뇌조직 등의 重要한 構成成分이다.

(2) 脂 肪

① 가장 많은 熱量을 내는 効率의인 energy源이다. 炭水化物이 4.3kcal/gram, 蛋白質이 5.6kcal/gram의 energy를 發生하는데 比하여 脂肪은 9.4kcal/gram으로서 대체로 炭水化物보다 2.25배의 energy를 發生할 수 있다.

② 動物體內에서 energy의 貯藏形態이다. 體內에 여분의 energy가 생기면 이 過剩 energy나 炭水化物은 脂肪이 되어 皮下나 脂肪組織에 貯藏되었다가 生理的인 要求에 따라 이것이 energy를 發生하게 되는 것이다.

③ 脂肪은 必須脂肪酸의 供給源이다. Linoleic acid, Linolenic acid, Arachidonic acid 같은 不飽和脂肪酸은 體內에서 合成하기도 어렵고 다른 營養素로부터 變轉되어 지기도 어려운데 反하여 要求量이 比較的 많으므로 重要한 營養素로 攝取되어야 한다.

④ 脂肪은 脂溶性 Vitamin 즉 Vitamin A,D,E,K 등의 供給源이기도 하다. 이런 脂溶性 Vitamin은 주로 脂肪에 녹아 있으므로 油脂攝取量의 많고 적음은 脂

溶性 Vitamin의 攝取量에 正比例하는 것이다.

⑤ 脂肪은 體內에서 重要한 器官을 外部의 충격으로부터 保護하기도 하고 體溫의 損失을 防止하는 絶緣체로서의 구실도 한다.

2. 消化와 吸收

복잡한 說明을 피하고 여기서는 炭水化物과 脂肪의 消化吸收를 간단히 言及하고자 한다.

(1) 炭水化物

먼저 口에서 salivary amylase에 依해 polysaccharide의 一部가 disaccharide나 약간의 glucose로 分解된다. 胃에서는 disaccharide의 加水分解가 약간 일어날 뿐이며 膵臟에서 분비되는 pancreatic amylase는 salivary amylase보다 強力해서 不消化 polysaccharide를 모두 disaccharide나 약간의 monosaccharide로 分解한다. 이와같은 過程을 거쳐 生成된 disaccharide는 intestinal juice 內의 maltase, sucrase, lactase 등에 依해 monosaccharide로 分解된다.

이와 同時에 炭水化物의 最終分解物인 monosaccharide는 小腸에서 그 吸收가 이루어 진다.

(2) 脂 肪

脂肪을 分解하는 酵素는 그 分泌部位에 따라 다음과 같이 세가지로 크게 區分지을 수 있다. 즉 gastric lipase, pancreatic lipase, intestinal lipase가 그것이다. 그러나 gastric lipase는 酸度가 맞지 않아 作用을 하지 못하며 pancreatic lipase는 glyceridehydrolyzing enzyme으로서 이 酵素에 依한 分解產物은 消化 안 된 triglyceride, diglyceride, monoglyceride 및 fatty acid 등이다. 끝으로 intestinal lipase는 脂肪에 結合된 phosphate group, choline 등을 分離해 낸다.

이와 같이 分解된 脂肪의 吸收도 亦是 小腸에서 일

어나는데 이때 脂肪은 monoglyceride, diglyceride, glycerine, fatty acid 등의 狀態로 吸收된다. 또한 triglyceride가 그대로 吸收되어 저기도 한다.

3. Carbohydrates와 Lipids의 energy 生産 機轉

(1) Glycolysis

Carbohydrates의 最終分解產物인 monosaccharide가 利用되는 첫단계가 glycolysis이다.

Glycolysis의 各過程을 보면 Fig.1과 같다. glucose는 連續的으로 여러 酵素의 作用을 받아 fructose-1,6-diphosphate가 되고 이것은 3-carbon units인 glyceraldehyde-3-phosphate와 dihydroxy acetone phosphate

으로써 계속적인 glycolysis의 進行을 가능케 하고 있다. anaerobic condition 이던 것이 酸素의 充分한 供給으로 aerobic condition으로 바뀌면 蓄積되었던 lactate가 시 pyruvate로 되어 TCA cycle로 들어갈 수 있게 되는 것이다.

한편, 섭취된 脂肪은 glycerol과 free fatty acids, monoglyceride 등으로 吸收되는데 이 glycerol은 phosphorylation되어 α -glycerophosphate가 되고 다시 dihydroxyacetonephosphate가 되어 glycolysis로 들어가게 된다. free fatty acids는 activation되어 acetyl-CoA가 되고 이것이 β -oxidation cycle로 들어가 反復的인 dehydrogenation step와 thiolase step을 거치는 동안 acetyl CoA 한分子를 分離해내고 2개의 탄소수가 적

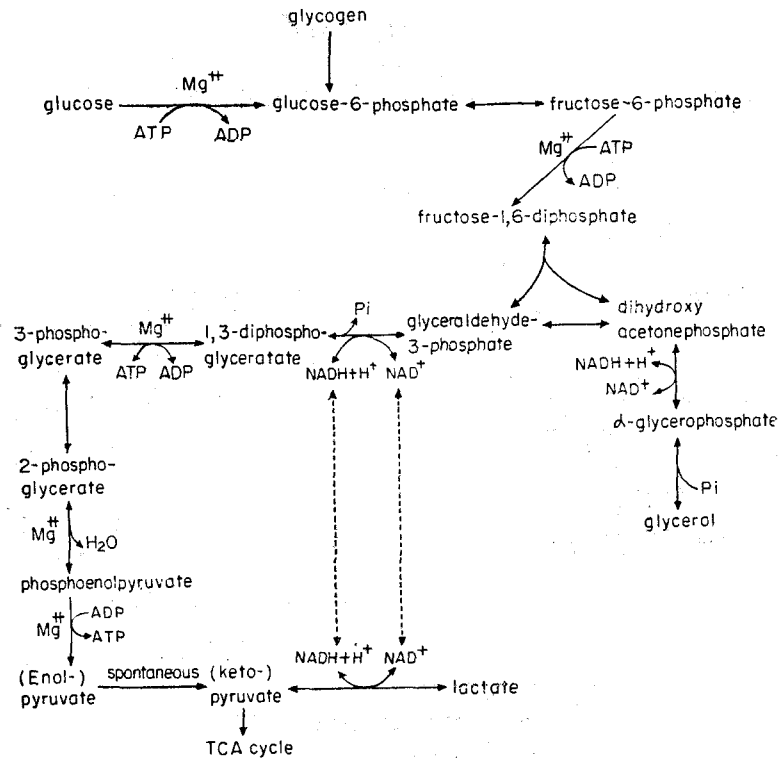


Fig.1. Embden-meyerhof pathway of glycolysis.

로 되고 glyceraldehyde-3-phosphate는 계속 作用되어 enol form의 pyruvate로 되고 이것은 보다 안정한 keto form의 pyruvate가 된다. 여기서 pyruvate는 aerobic condition 下에서는 TCA cycle을 통하여 계속 oxidation이 일어나서 energy를 生産하며 anaerobic condition에서는 pyruvate가 lactate dehydrogenase에 의하여 lactate를 形成함으로써 glyceraldehyde-3-phosphate가 계속 正方向으로 反應이 進行될 수 있게 함

은 acetyl Co A가 되어 다시 β -oxidation cycle을 들르로서 계속적으로 acetyl CoA를 分離해 내게 된다. 이 acetyl CoA는 TCA cycle을 통해서 完全히 oxidation 되는 것이다. β -oxidation cycle을 간단히 도식해 보면 Fig. 2와 같다. β -oxidation cycle에 관여하는 여러 가지 coenzymes의 electron transport system에 關하여는 뒤에 言及하기로 한다.

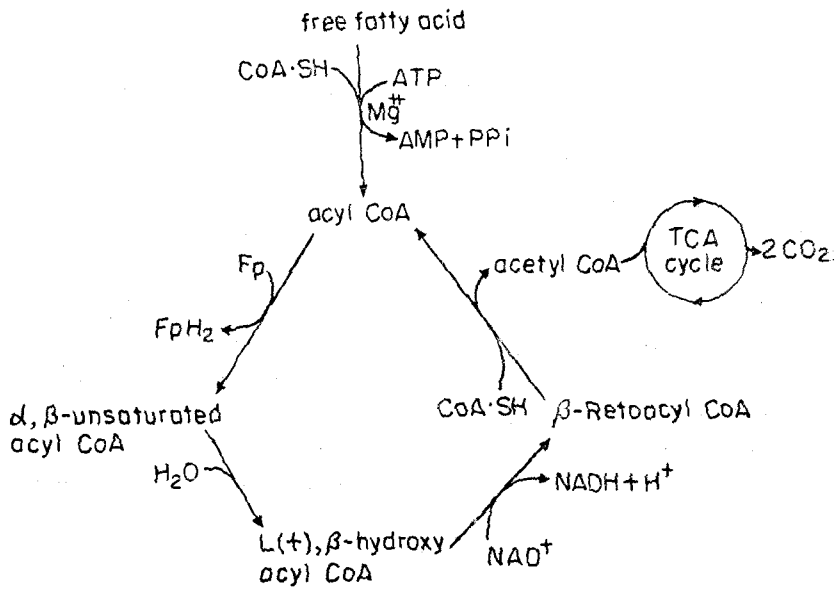


Fig.2. β -oxidation of fatty acids

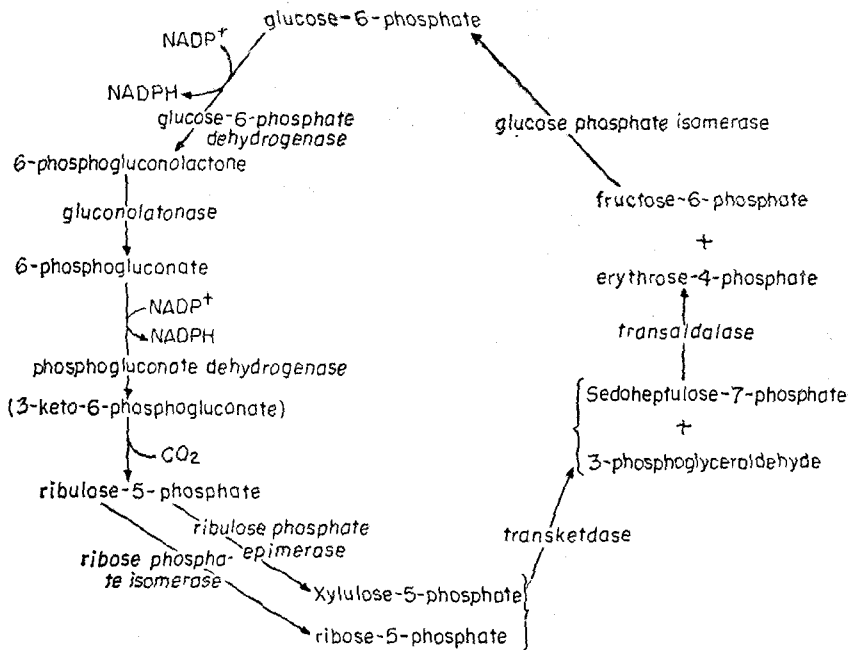


Fig.3. Reactions of Hexose Monophosphate shunt.

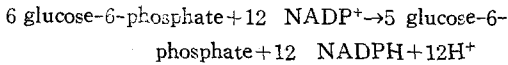
(2) Hexose Monophosphate Shunt (HMPS)

Glucose-6-phosphate의 分解를 위한 反應이 glycolysis 以外에도 存在한다. 이것을 hexose monophosphate shunt라고 하며 여기서는 coenzyme으로서 NAD^+ 代身 $NADP^+$ 가 作用된다. HMPS의 作用過程은 Fig.3와 같다. HMPS는 크게 보아 두 phase로 나눌 수

있다. 첫번째 phase는 glucose-6-phosphate가 dehydrogenation과 decarboxylation을 하여 pentose인 ribulose-5-phosphate로 되는 과정이고 두번째 phase로는 ribulose-5-phosphate가 glucose-6-phosphate로 되돌아 가는 과정이다. 이 과정에서는 주로 두가지 酵素가 作用하는 바 transketolase와 transaldolase가 그것이다.

全過程을 要約해서 하나의 反應式으로 써보면 다음

과 같다.



즉, HMPS는 fatty acids, Steroids 및 몇가지의 amino acids의 합성에 필요한 NADPH의 공급원이다 또한 HMPS는 ATP의 給源이기도 하다. 왜냐하면 HMPS과정 가운데 生成되는 pentose가 언제든지 hexose phosphate가 되어 glycolysis와 TCA cycle 또는 Kreb's cycle을 거쳐서 酸化될 수 있기 때문이다. 나아가서 HMPS는 pentose를 生成시킴으로써 해서 ribonucleotide 합성에도 관여함으로써 그 重要性은 더욱 強調되어져서 타당하다 하겠다.

(3) TCA cycle

TCA cycle은 carbohydrates나 lipids의 分解產物을 CO₂와 물로 分解하는 마지막 단계이다. 먼저 carbohydrates의 경우 glycolysis에 의해 얻어진 pyruvate는 TCA cycle에 들어가기 前에 oxidatively decarboxylation 되어 acetyl CoA가 되어야 한다. 이 反應은 여러개의 서로 다른 酵素들이 순서적으로 作用하여 進

行된다. 이 酵素들을 通稱하여 pyruvate dehydrogenase라 하며 이 system은 NADH를 生産하고 acetyl CoA의 thioester bond 形成의 原動力을 提供해 준다 TCA cycle의 출발물질인 acetyl CoA는 lipids의 대사 과정 中에도 生成된다 함은 β-oxidation cycle에서 이미 보았으며 여기서 生成된 acetyl CoA, carbohydrates로부터 生成된 acetyl CoA와 함께 TCA cycle을 돌아가게 된다.

Acetyl Co A는 먼저 oxaloacetate와 결합하여 citrate를 形成한다. 이 step이 TCA cycle의 첫 step이며 citrate는 Fig. 4에서 보는 바와 같은 연속적인 反應을 거쳐 CO₂와 NADH를 放出하고 다시 oxaloacetate가 되어 새로운 acetyl CoA 한 분자와 결합하는 것이다. 이와같은 TCA cycle을 進行시키는데는 여러가지 酵素 以外에도 thiamine, riboflavin, niacin, pantothenate 등 몇가지 vitamins이나 mineral이 必須的으로 要求되는 反應도 있다. 즉 carbohydrates나 lipids의 대사에 vitamine이나 minerals가 반드시 必要한 것이다.

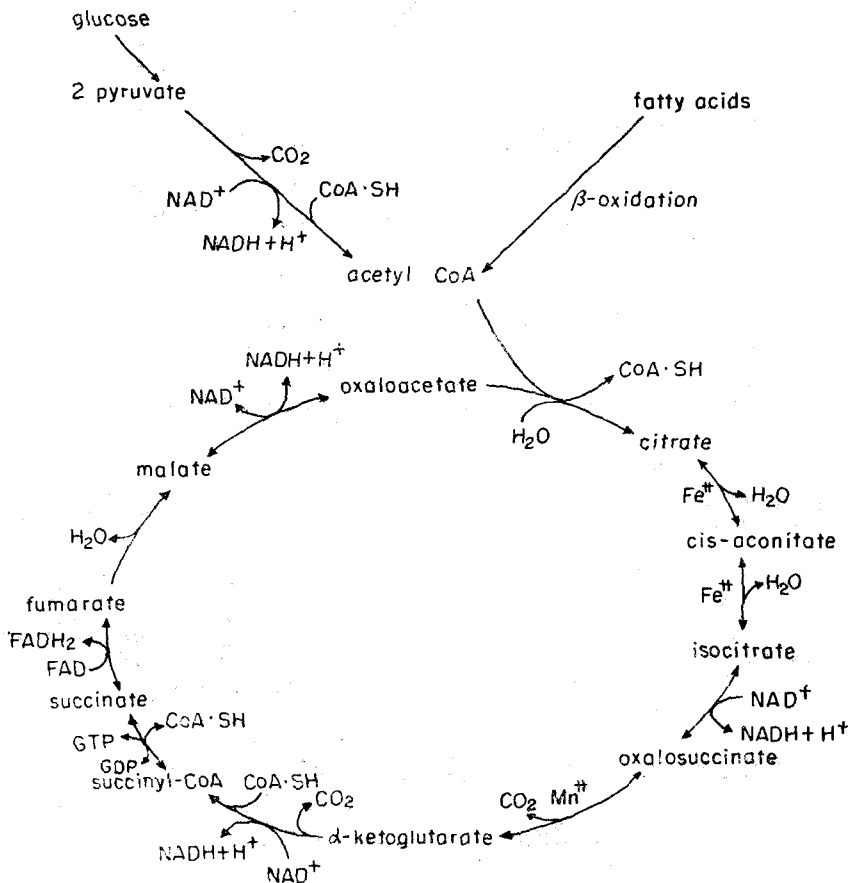


Fig. 4. Summary of TCA cycle

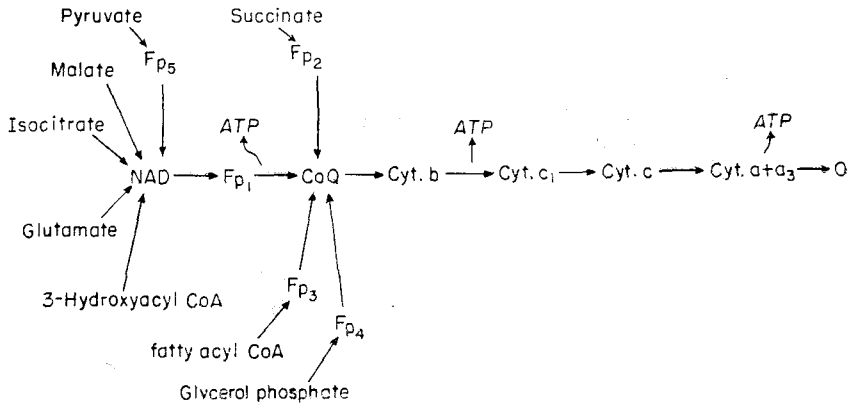


Fig.5. The respiratory chain in mitochondria

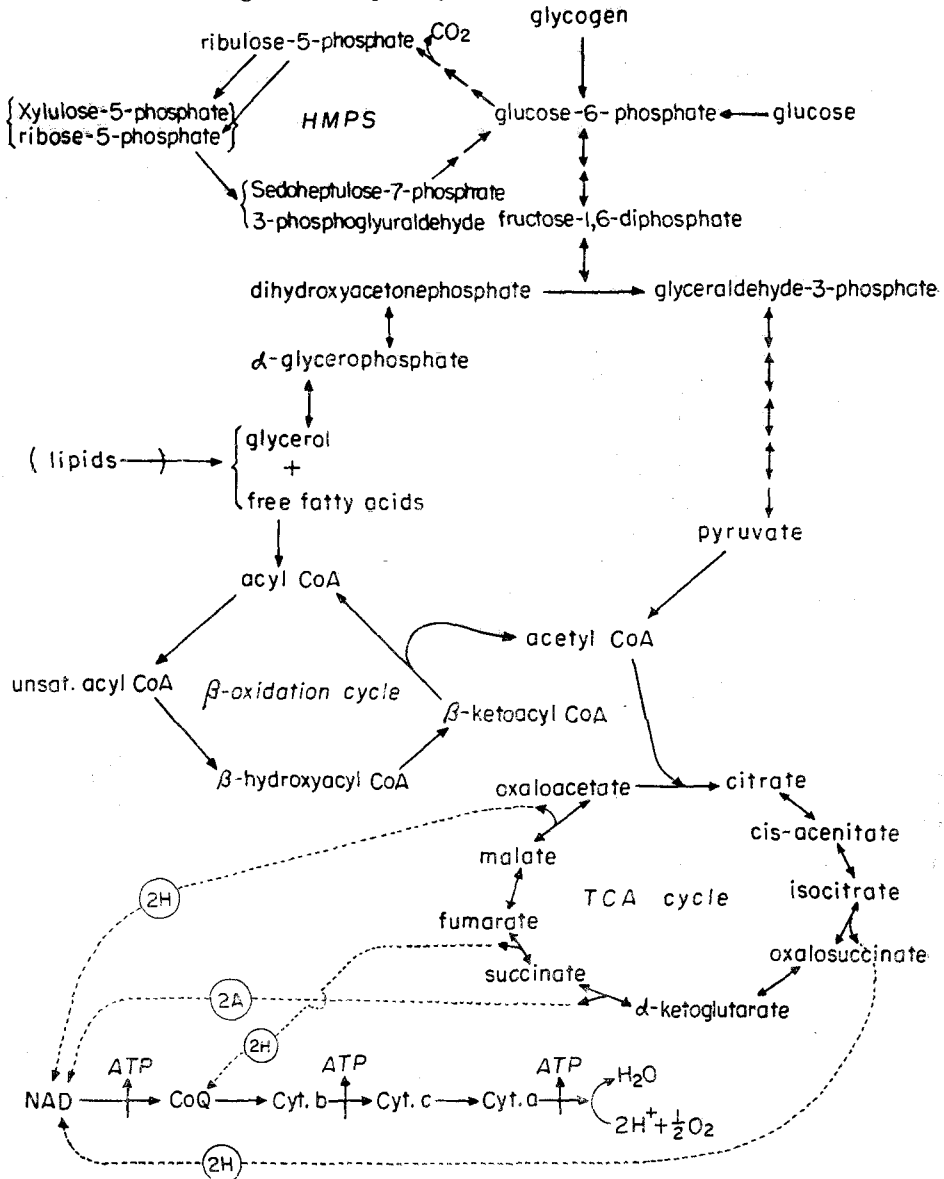


Fig.6. Energy production mechanism of carbohydrates and lipids.

(4) Electron transport system

Fatty acids나 carbohydrates의 酸化에 의한 모든 energy는 mitochondria內에서 發生된다. 그래서 mitochondria는 respiratory chain이라는 연속적으로 作用을 하는 catalysts를 갖고 있다. 이 catalysts들은 hydrogen과 electron과 같은 reduced equivalents를 轉位시켜 최종적으로 산소와 결합시켜 물을 生産케 한다. Respiratory chain의 각 구성물질을 단계적으로 표시하면 Fig. 5와 같다.

이 electron transport system에서는 substrate에 따라 electron의 流入단계가 달라진다. 또한, respiratory chain의 단계마다의 free energy 變化는 일정하지 않고 NAD와 Coenzyme Q 사이, cytochrom b와 cytochrome C₁사이, cytochrome a과 O₂사이에서는 free energy change가 매우 커서 7.3 k cal보다 크므로 이 step에서 ATP의 high energy bond가 形成되는 것이다. 그러므로 electron의 流入部位에 따라 ATP生成 效率가 달라지게 된다. 以上으로 볼때 前述한 glycolysis, β -oxidation cycle, Kreb's cycle 등의 ATP生成 效率를 계산해 볼 수 있다. TCA cycle의 예를 보면 pyruvate dehydrogenation step에서의 NADH는 3개의 ATP를 生産함을 Fig. 5에서 쉽게 찾아 볼 수 있다. Isocitrate dehydrogenation step에서도 NADH 한 분자는 3개의 ATP를 生産한다. 이와같은 respiratory chain oxidation外에도 substrate level에서 그대로 酸化되며 high energy compound를 生成해내는 등 한 분자의 포도당으로부터 모두 36분자의 ATP가 生産되어 energy 발생효율은 42% 정도이다.

이상에서 본 carbohydrates와 lipids의 energy 生産

mechanism을 한장의 도표로 연관시킨 것이 Fig. 6이다.

4. 섭취한 carbohydrates 및 lipids와 體組成과의 關係

前述한 바와 같이 energy source로 쓰이고 남은 carbohydrates나 fatty acids는 體脂肪을 合成하여 體內에 蓄積시켜 둔다. 그러므로 음식을 많이 攝取하는 경우에는 體脂肪 含量이 增加하게 된다.

또한, 年齡이 體組成에 미치는 영향도 至大하여 年齡이 增加할 수록(體重이 增加할 수록) 水分의 含量은 減少하는 反面에 脂肪의 含量은 增加하는 것이다 (Inverse relationship between body fat and water content). 예를 들면 乳牛의 경우 生時에는 水分含量이 74.2%이나 4세時에는 훨씬 줄어 59.0%이며 脂肪含量은 2.8%에서 17.7%로 增加한다.

그 以外에 體組成에 영향을 미치는 因子로는 性別에 의한 영향과 給食回數에 의한 영향을 들 수 있다. 먼저 性別로 볼때 암컷은 수컷보다 脂肪의 含量이 항상 높고 水分含量은 낮았다. 한편 급식회수에 의한 차이도 뚜렷이 볼 수 있는데 급식회수를 하루 2회로 한 쥐들은 자유채식한 쥐에 비해 水分, 蛋白質 含量이 적은 反面에 脂肪과 energy의 濃도가 월등히 높은 것을 볼 수 있었다.

個體에 의한 차이도 무시할 수 없겠으나 이상의 섭취음식의 조성이 體脂肪 組成에 미치는 영향은 크다 하겠다.