

第十二章 實驗動物之營養

實驗動物為當代基礎醫學、生物科技及農業技術發展中所不可或缺的材料。品質良好的實驗動物，取決於有計劃的繁殖育種制度，嚴謹之疾病監控，及標準的飼養條件；另一常被忽略的重要因素為實驗動物之營養需求，動物個體需獲取均衡之營養分，以維持正常生理機能，其營養需求會因個體之生理狀況，如維持、成長及繁殖階段，動物種類、年齡性別而有所差異。若攝取量不足，或營養不均衡，則體內營養代謝會呈負債狀況，短期缺乏尚可藉由體內蓄積之營養成份轉換供應，長期缺乏，則往往會產生營養性機能障礙，衰弱致死。反之，若攝取量超過身體代謝所需，所吸收的養分會轉變成脂肪而堆積於體內，而造成肥胖症。

為確保動物每日攝取之飼料為均衡之飼糧，從配方設計、原料選擇、製造過程、運輸、儲存，到最後之餵飼，都須仔細考量監控，同時要確實掌握飼料本身中各種污染物質，如重金屬、黴菌、殺蟲劑及抗生素等的含量，以避免動物正常生理機能及實驗結果遭受影響。

飼料供應的容器應放置在適合的地點，以避免飼料被動物排泄物所污染。而就群居動物而言，不單要提供大小適中的容器，同時也應該給予足夠量的飼料及進食時間，讓每一動物個體都能攝取到每日所需的營養分。

一、影響營養需求的因素

(一)遺傳特質

同種間不同品系的動物，會因遺傳基因表現程度不同，而影響到營養需求。例如在 ODS 大鼠，因為基因突變造成 L-gluconolactone oxidase 酵素缺乏，使個體無法合成維他命 C。其他如靈長類動物、天竺鼠等，亦無自體合成維他命 C 的能力。此一酵素之活性在不同種動物或不同性別間會有差異，造成動物對維他命 C 有不同的需求。因此，於飼料中應添加適量之維他命 C，以滿足不同種類動物間之需求。

(二)生理狀況

動物在不同的生理狀況中，如生長、懷孕和泌乳時，對營養需求會有所不同。個體需從飼料中獲取額外的營養，以滿足其進行組織合成修補或產製乳、蛋、毛所需之原料。從農場動物研究資料顯示，生長速率和泌乳會影響個體對養分之需求。在實驗動物中，目前雖無直接資料顯示，但類似現象亦可能發生。

(三)環境因素

環境因素會改變動物對養分之需求。就恆溫動物而言，若暴露在熱中性帶 (thermo neutral zone) 以下的溫度，勢必需產生較多的熱能，以維持體溫之恆定。反之，在高溫環境中，動物採食意願會降低，此時應提供高營養密度之飼料，使動物獲得足夠養分。個體若有異常採食之行為時，為避免過度肥胖狀況出現，則可用低營養密度飼料供應。房舍種類亦會影響動物對養分之需求。例如，動物可由鍍鋅的盒子表面接觸攝取到鋅元素，而養在實體盒子的動物，則可由糞便中攝取到額外之養分。溶解在飲水中的金屬元素，如由銅管釋出之銅元素，也會影響到飼料中之礦物質含量。有些微量元素，如鉻 (Cr) 及銦 (Sr)，會漂浮在空氣

中，若控制不當，也會污染到實驗條件，針對此類型之研究，就必須利用具有空氣過濾功能之隔離操作箱，來杜絕環境因素可能造成之影響。墊料異常攝食，會增加腸胃蠕動速度，加速物質通過腸道之速率，降低營養份之利用率；若墊料本身含有殺蟲劑或微生物毒素時，則會對動物造成直接之傷害。

(四)微生物狀態

在正常飼養條件下，動物腸道中存在有極大數目的微生物。這些微生物在腸道中行代謝作用，產生如水溶性維他命 B、K 及胺基酸等有機物質。通常這些物質無法被個體再吸收利用，除非是藉由採食糞便行為再攝取獲得。這些物質被利用情形，會因動物種類、飼料成分、飼養條件不同而有所差異。因此，設計實驗時，就須考慮是否容許食糞行為之發生。在無菌動物個體中，因腸道內微生物狀態與一般動物不同，因此在調配飼料時，必須調整飼料成分及製造方法，以滿足個體需求。

(五)研究條件

實驗操作，如手術或於飼料中添加測試物質時，會造成動物緊迫或改變飼料的適口性，使動物食慾減退，進而影響飼料的採食。此時就必須給予適口性較佳的飼料或提供高養分濃度的飼料。在限食性實驗中，應調整飼料配方，增加部分養分之濃度，以補充因攝食量減少而導致不足的部分，否則會影響到其他養分的吸收利用情形。

(六)養分間的交互作用

在調製飼料時要留意養分間之關係，因為某種養分攝取量增加時往往會影響到另外養分之吸收和利用，例如改變飼料中能量的濃度，會影響到動物的攝食量。當使用高熱量飼料時，攝食量便會下降，此時就必須調高飼料中養份的濃度。另外的例子，如不同的礦物質元素會競爭同一吸收位址或同一運送系統，而影響到彼此被吸收之效率，例如鈣、磷、鎂及維他命 D 間之關係。因此在調配飼料時，若存在不尋常之養份濃度時，則應考慮其會對其他養分造成何種影響，進而改變其他養分之含量，以為補救措施。

二、營養成分

實驗動物之飼料，必須為一均衡之飼糧，以供動物所需。營養分依化學性質及其功能，可分為水分、蛋白質、碳水化合物、脂肪、維他命、及礦物質等六大類。飼糧中若缺乏某些營養成分，短期會對個體產生機能障礙，或產生營養性疾病；長期採食不均衡之飼糧，嚴重者會造成個體之死亡。

(一)蛋白質及胺基酸

蛋白質由胺基酸組成，飼料中之蛋白質需經消化分解成胺基酸，才能被利用。蛋白質為體組織的基本構造，包含肌肉、神經、結締組織、酵素、抗體、血球等。體內蛋白質含量是呈動態之變化，即體組織不斷地在進行更新修補，當蛋白質之合成速率大於分解速率時，動物個體才能進行生產的功能，如胚胎形成、成長、泌乳等。

動物體內之胺基酸，可分為非必需胺基酸及必需胺基酸二種。不同動物其對必需胺基酸種類之需求會稍有區別。合成蛋白質時，除非限制胺基酸補足，否則其他胺基酸的利用會受到影響。因此，在配製飼料時，務必充分供應必需胺基酸，

以免障礙產生。胺基酸無法蓄積在體內，攝取過量對動物並不會造成妨礙，過剩的胺基酸可被肝分解作為能量的來源。飼料添加過量之胺基酸，會導致製作成本的提高。

飼料中蛋白質添加的量與蛋白質的品質有關，即與蛋白質中胺基酸組成份、蛋白質之消化率及消化後營養成份之利用率等有關。理想的飼料，其胺基酸組成，不可能只藉由一種蛋白質性原料調配而成，而需利用多種蛋白質原料互補調配，以獲得均衡的胺基酸需求。一般作為動物性飼料之蛋白質原料，其含硫胺基酸的含量往往較低，因而在製作時會額外添加甲硫胺酸，以補充不足的部分。

(二)能量

飼料中所提供的能量，可作為動物進行肌肉收縮、代謝反應、體溫維持、修補合成組織時的燃料。脂肪及碳水化合物為飼料中主要能量之來源，蛋白質亦可作為能量之來源。食物中含有的能量值是由食物之消化率及其存在之化學能推算出來，飼料完全燃燒所產生之能量稱之為總能 (gross energy, GE)，一飼料的總能並不等於該飼料之消化能 (digestible energy, DE) 或代謝能 (metabolizable energy, ME)；消化能為總能扣除糞便中之能量，而代謝能則為消化能扣除尿和發酵氣體的能。同一種飼料的代謝能就不同種動物而言是不相同的，此差異性主要來自生理特質及消化道構造之不同。在計算飼料配方時，這三種表示法有其代表之意義，其中要以代謝能較能精確顯示飼料中可被動物利用的能量總值。

能量需求與動物之體型大小、體表面積、活動多寡、生理狀況及環境溫度有關，通常是以代謝體重 (metabolic body weight；即 $\text{body weight kg}^{0.75}$) 來換算。體型相似之動物，在靜止禁食狀態下，能量需求約為 450 仟焦耳 (kilo Joule；kJ)。維持、成長、懷孕及泌乳狀況下所需之能量要高於此值。實驗動物因被侷限在有限空間中，活動量少，因而維持所需之能量與基礎代謝能是相當的。懷孕期採食量會增加，而泌乳期間所需的能量也會遠超過生長所需。

碳水化合物為動物飼料中最大宗的能量來源，常見者為穀類(如大麥、燕麥、玉米及小麥)中所含有之澱粉及醣類。澱粉可為唾液及腸道中之酵素分解成單醣後，直接被吸收利用，或經腸道中微生物之發酵作用，分解碳水化合物以供宿主利用。碳水化合物之代謝能值為 17kJ/g。

脂肪為高單位之能量來源，代謝能值約為碳水化合物之兩倍 (38kJ/g)。體內能量之堆積亦以脂肪形式存在。脂肪除了作為能量之供應外，亦可幫助其他物質之吸收 (如脂溶性維他命)。脂肪酸亦為體內必需之營養成份，若缺乏則會造成機能異常。通常飼料之適口性會因脂肪之添加而有所改善。

(三)能量蛋白質比

在任意採食的條件下，動物會進食到能量需求被滿足為止。因而，就高能量飼料而言，動物的攝食量會比低能量飼料為少；當攝取量減少之同時，其他養分的攝取量也會有等比例減少之情形。因此在設計高能量飼料時，務必調整其他養分含量，避免不足現象產生。在調整飼料時，尤其要注意蛋白質含量。若能量蛋白質之比值過高，動物對胺基酸的攝取量會不足，而使得生長或繁殖性能變差。反之，若比值較低，則胺基酸會被作為能量的來源，是非常不經濟的作法。

(四)纖維

植物性飼料中有大部份成份是為單胃動物所不能利用的，一般我們通稱此為纖維。常見之飼糧纖維 (dietary fiber) 包括，膠 (gums)、半纖維素 (hemicellulose)、

纖維素 (cellulose) 及木質素 (lignin)。纖維素並無營養價值，但因具有膨大疏鬆之特性，有助於腸道內容物之移動。另外，纖維具有蓄存水份之特性，且可使消化酵素容易與腸內容物接觸，使養分之消化及吸收更易於進行。飼料中添加纖維亦可改善適口性。然而部分礦物質會吸附在纖維上，致使其被吸收之效率降低。纖維之主要來源為植物性，尤其是穀類，如燕麥、小麥。在純化飼料中習慣上會添加 5-10% 之纖維素。

(五) 維他命

維他命為飼料中之微量成份，但為動物進行各種生理代謝機能所必需之元素。通常可因其物理性狀，簡分為脂溶性 (如維他命 A、D、E、K) 及水溶性 (如維他命 B、C) 維他命等兩大類。脂溶性維生素可蓄積在體組織中，不需每日供應。而水溶性維他命不易蓄積在體組織中，必須由日糧中提供。

維他命於代謝反應過程中，扮演著輔酉每的角色，而非直接鍵結於代謝產物中。維他命於天然產物中含量豐富，例如穀類及酵母菌含大量之維他命 B 群，魚油中富含維他命 A 及 D，新鮮綠色蔬果則富含維他命 C 及 K。維他命 D₃ 可經陽光紫外線照射而在皮膚中形成；鳥類無法有效利用 D₂，因而需在飼料中添加 D₃。多數之哺乳類動物均可有效運用 D₂ 或 D₃，唯獨新世界猿猴類在運用維他命 D₂ 之效率會差些。胡蘿蔔素為維他命 A 之前驅物，綠色植物中含量高，其中又以胡蘿蔔素 (β-carotene) 之活性最佳。就多數動物而言，維他命 A 之產製主要在腸壁及肝臟中進行，唯獨貓類是例外。

(六) 必需脂肪酸

必需脂肪酸指的是亞麻油酸及亞麻仁油酸。兩者都無法在體內合成製作，必須自植物性油中獲得。實驗資料顯示，多數不飽和脂肪酸具有類似維他命之功能，若在飼料中缺乏時，則會造成生長延滯、皮膚炎及皮屑。

(七) 礦物質

在動物營養上，依身體對其需求量之多寡，而可分為多量元素及微量元素。身體需求量最大之礦物質元素為與骨骼形成有關之鈣、磷及鎂元素；與細胞及組織液滲透壓之維持有關之鈉離子、鉀離子、鎂離子及氯離子；而微量元素除了具輔酉每之功能外，其他如鐵與銅和血紅素合成有關；碘與甲狀腺素合成有關；鈷則與維他命 B₁₂ 合成有關。多數之礦物質都可自作物原料中獲得，部分亦存在飲水中，因此在配製飼料時，通常並不需要額外添加。鈣則會以碳酸鈣之型式添加。有些植物中含有大量之植酸 (phytates)，影響到礦物質如磷、鐵、鋅及鎂之吸收利用，此時在調製飼料時須額外添加。純化飼料中亦需添加所有之礦物質。

(八) 水

水為支持動物生命功能之重要營養份，但往往為人們所忽略。就成熟動物而言，水分含量約占總組成 50%；血液中的含水量則高達 80%。除此之外，水在動物體內亦參與多項功能：

1. 體細胞內參與生化反應，如營養元素之分解、組成、代謝；
2. 細胞內之溶劑，以利組織細胞間氣體養分之運輸交換；
3. 正常體溫之維持；
4. 代謝廢物之排泄。

嚴重脫水往往會導致體細胞機能停止，甚至造成個體死亡。因而經常不斷地

供應純淨水源供實驗動物飲用，對正常生理機能之維持與生命之延續，是相當重要的。

動物每日需水量，因動物種類、年齡、生理狀況、活動量、環境氣候、乾料攝取量、和飼料種類而有所不同。動物體內所需的水份，至少有三種主要來源，(1)直接飲用；(2)食物中之水份；及(3)代謝所產生的水份。後者可經蛋白質，脂肪，碳水化合物氧化代謝後產生。不同地是蛋白質代謝後，會產生尿素。在正常狀況下，尿素會隨著體液循環排至體外。倘若在餵飼高蛋白質飼料之同時，未能充分供應飲水，則體內尿素無法有效排除，則會導致動物組織細胞產生中毒現象。在餵食高蛋白質飼料，或只供應乾料時，一定要給予動物足夠之飲水。嚴重脫水時，動物會出現拒食之現象。

一般而言，齧齒類動物，如大鼠，小鼠，皮膚上無汗腺之分布，因而在高溫環境中，無法適應並有效調節體溫。在高溫環境下，這類這些動物並無增加飲水量以補償喪失之水份。其往往藉助行為，如挖洞、來降低體溫。因而要避免將動物長期暴露在高溫惡劣環境中。沙漠動物、如沙鼠有抗乾旱之生理特質，但若長期餵食乾料，而不供應水分也會導致動物個體虛脫死亡。

實驗動物飲用水水質標準，ILAR (Institute of Laboratory Animal Resources) 之建議為「正常而言，實驗動物應可依其需要，隨時隨地的獲取足夠的飲水。至於飲水之品質及可適合飲用之標準，則因地區之不同而有所差異。定期進行水質檢測，包括硬度、pH 值、微生物或化學性汙染物質濃度等項目，對於水質之監控與動物健康之維持是必要的措施」。實驗動物的飲水應以提供新鮮純淨之水源，並採自由飲用為原則。實驗動物飲水，通常需先經處理，以除去不必要之汙染源，如致病性微生物，有機物質及化學物質之汙染。水中含有之礦物質會因地區不同而有差異。動物飲用水最好由水源直接供應，而不要經儲存桶間接給與。供水水管材質必須謹慎考慮，在軟水區應避免使用鉛或銅管。有報告顯示硬水水質與某些品系動物之腎結石有關。水中含有之鈣質亦可防止動物有缺鈣之情形。有些區域水中之鎂、鐵、氯濃度偏高，會導致動物產生中毒現象。

三、飼料設計及製作

配製飼料時，應注意幾個重要因素：1、需能滿足動物的營養需求；2、確實明瞭飼糧使用之目的地；3、原料獲得之難易；4、是否需經滅菌處理，是否需要額外添加營養成份之含量；5、儲存期限；6、製作成本，以設計出一均衡飼料。

(一)飼養目的

在設計飼料配方之初，即應先了解每種飼料使用的目的，再藉由不同原料組合調製成所需之飼料養分規格。就研究人員而言，除了研究的營養成份項目外，其餘的營養成份含量比例應該是固定的，包含養份濃度及原料組成。而就實驗動物繁殖供應廠商而言，因考量到飼養成本因素，因此會採用不同之原料組合配製飼料來餵食動物，這種作法是可被接受的。

(二)原料之微生物狀態

實驗動物飼糧不應含有任何病原微生物，尤其是用以餵飼無菌動物之飼料，更不能含有微生物，因而在原料之選取過程，就應作嚴格之篩檢。例如所使用之肉骨粉，不應有沙門氏菌汙染之可能。調製好之原料，在進行蒸氣加熱打粒擠壓

處理步驟時，微生物含量會明顯降低，通常此一品質已符合一般飼養環境之動物使用，若是使用於無特定病原動物或飼養在隔離區動物時，則應先經滅菌處理，方可使用。

(三)飼料價格

低價購得的飼料，其營養成份含量，往往會有較大之變異，品質也較難掌握，這些變數最終將顯現在動物實驗的結果中。事實上，就整個研究計劃經費而言，用於動物飼料之費用，僅佔極小之一部份，因此用價錢作為評估飼料優劣之標準，是為不智之舉。反之，在進行較嚴謹的實驗時，更應採用純化飼糧來取代天然原料調製的飼糧，雖然費用會較高，但所獲得之實驗結果會較一致。

(四)原料之選擇

生產飼料所採用的原料，應選用普遍存在而且容易獲得的種類，如此製作的飼料品質才會一致。原料的選擇會受到下列因素影響：產地、供應之區域性、成本、原料品質。任何一種原料之品質及污染物質之含量，都必須加以分析，以作為原料取捨、配方設計時的參考依據。原料使用前亦需詳加檢視，確信無敗壞、長蟲、遭受污染或其他變質的狀況產生。

(五)適口性

飼料之適口性指飼料可被動物接受之程度，取決於物理性狀及味道二大因素；前者指顆粒大小及硬度，後者則須藉助原料的選擇、配方研究及製作技術，以生產出口感能被動物所接受的飼料。

飼料經過打粒處理後，有助於動物的攝取，且可增加動物的進食量。飼料浪費程度會因飼料形態、動物之食慾、飼料槽的設計之不同而有所差異。例如，若將太軟的飼料放置在盒蓋上，或盒蓋鐵絲網間格過寬，都會增加飼料浪費的可能性。每種成分在打粒前若能完全磨碎粉化，這對減少浪費也會有很大的幫助。

就豬、狗、靈長類動物而言，在飼料製造時會添加調味劑或其他物質，以增加飼料之口感。就實驗動物而言，這種作法，應盡量避免，以免影響到實驗結果。另外在改變飼料之口感的作法上，也可將之製造成不同之型態，例如：狗貓飼料有濕料、罐裝及半濕型（soft-moist）等三種型態。就兔子而言，採食粉狀飼料之意願會比粒狀飼料較低。嚙齒類動物及兔類，需藉助較硬之飼料來磨損門牙。然而太硬之粒狀飼料，對幼小動物而言，會影響其採食量及生長狀況。

四、飼料品質監控

(一)飼料品質對實驗結果的影響

就經濟動物而言，飼料營養成份濃度須針對不同之生理狀況而作調整，以獲得最大之飼養經濟效益。而就實驗動物而言，因為市場需求量較小，飼料開發經濟效益不高，因此一般單位只能購買現有之商業飼料，餵食不同生長階段和實驗目的之動物。

事實上，若因實驗需要而需調製特殊飼料時，在設計時即需作整體性之考量，因為每種養分在體內都有其特殊的功能，且營養成份彼此間也存有複雜的關聯性，例如，飼料中蛋白質含量會影響肝臟中酵素活性，進而改變藥物或其他化學藥品的代謝速率。另外，如病理學上的腎臟鈣化之形成與飼料成份及蛋白質含

量變異也有極大的關連性。

不同品牌包裝的飼料，營養成分一定會有所不同，即使同一種飼料其營養成份也會因原料成分或產製批次不同而有所差異，這種差異性對實驗也會造成影響。另外，如經常存在棉花種子、玉米及堅果中之非營養污染物質（如細菌毒素）、重金屬、殺蟲劑、肥料等污染物質，都可能影響實驗結果。在進行實驗前，對可能存在之污染物質的含量，應作篩檢分析，以降低動物被污染的可能性。目前，在市面上有多家飼料供應商可提供經認證的飼料（certified diets），這類廠商將可提供消費者相關的分析測試報告（例如汙染物之殘留量報告、營養成分分析報告等），使用者則可藉由報告數據之取得而獲得更好之保證。

(二)飼料品質的確認及污染物質的來源

為求得飼料品質之一致性，首先必須將每批購得的飼料原料，進行「近似分析」，再依據分析結果，推算飼料中各成分的確實含量。因為原料的營養價值，會因生產季節及產地不同有所差異。其次，因人為的疏忽或因配方計算錯誤，而導致實際養分含量與預期數值差異過大。另外因使用較不安定的成分原料，或原料含有污染物質，造成該批飼料不適合用於實驗動物飼養上。這些可能出現的危機，往往可藉由定期執行飼料成份篩檢分析工作，來加以杜絕。

飼料篩檢所需的樣品應從不同袋或容器中取得，並送至有信譽之單位作檢測工作。分析項目至少應包含近似組成成份分析數值，例如，水分、粗蛋白、乙醚抽出物、粗脂肪，灰分及粗纖維或酸洗纖維含量等。此外，如化學性、生物性及病原菌等項目，若會影響動物品質時，則須列為檢測項目。

就多數實驗而言，尤其是毒理及免疫實驗，飼料中都不應有化學性及生物污染物質。NRC (National Research Council) 建議下列物質，不應存在飼料中，包含：1.殺蟲劑；2.害蟲（尤其是昆蟲及跳蚤）；3.細菌、細菌毒素及微生物毒素；4.天然之植物性有毒物質；5.營養成份之分解物質；6.亞硝酸鹽類；7.重金屬。而有關化學污染物質在飼料中的最大的容許量，Rao and Knapka 在 1987 年的報告中，列出四十種污染物質含量，同時對其可能造成的影響，有詳細說明。

在整個飼料製造過程中，應避免意外污染發生的可能性。例如為避免機器本身保養劑或上批飼料殘留所造成之污染，在製作新配方飼料時，可將每日前面產製部分棄置不用。另外在產地對殺蟲劑或除虫劑之管制使用，亦可減少作物原料藥劑殘留問題。每批穀類原料應作分析，以確信因儲存及運送而添加之 benzene hexachloride 含量在容許範圍中。對進行肝機能測試之實驗，研究者須分析飼料，以確信殘留之殺蟲劑不會影響到微酵素之功能。飼料中常添加抗氧化劑以增加脂肪之安定性，減少酸敗發生之狀況。大量添加天然抗氧化劑，如維他命 C 或維他命 E (α -tocopherol)，對動物不會造成中毒現象，但若是添加 butylated hydroxytoluene (BHT)，其添加量佔飼料乾重的 0.2%時，對大鼠而言，會降低生長速率，致使肝臟重量及微酵素的濃度上升。Gallates 會影響繁殖性狀，應避免使用。抗生素、色素、調味劑及抗凍劑均不可加入飼料中。若需在飼料中添加任何一種物質時，應針對該物質事先評估考量，瞭解其對動物實驗之影響。

(三)影響飼料品質的因素

飼料之營養價值會受到外界環境因素之影響而遭受破壞，這些因素包含：光

線、空氣、熱源、化學煙燻處理、輻射照射、運輸與儲存條件等。

(四)光線

飼料中有多種成份，經光照射後會起化學變化而遭破壞分解。常見者如核黃素、葉酸及維他命 B₁₂ 等對於光較為敏感，因而在製作、運送、儲存期間，應將飼料存放在陰暗處，減少養分流失破壞的程度。

(五)空氣

飼料在製作過程中，若攪拌過度，會增加養分成分（如維他命 A）發生氧化之機率。若飼料中存在有酸敗之脂肪時，則氧化現象會加速進行。添加抗氧化劑有助於減緩氧化過程的發生。

(六)加熱處理

飼料經乾熱和蒸氣處理，亦會導致養分氧化變質，甚至產生有毒物質和抗養分吸收物質之出現。一般而言，破壞的程度與溫度及時間成正比。例如不當加熱處理，會使胺基酸在蛋白質中形成鍵結，或胺基酸與脂肪和碳水化合物鍵結，而形成不可消化的物質。多數維他命在高溫也會遭到破壞，特別是硫胺酸、吡哆醇、維他命 A 及維他命 C。這種現象在純化飼料中的破壞程度會比在天然飼料為嚴重。加熱處理對飼料的物理性狀亦會有影響。例如顆粒會變形解體、硬度增加、凝結成塊或產生異味而降低適口性；另外，加熱處理不當，會導致黴菌孢子之滋長。飼料在製作時，可添加物質以達抗氧化、改善適口性、或抑制黴菌生長等效果。粒狀飼料結塊問題，可藉由利用抽真空式之滅菌鍋進行滅菌、減低平鋪飼料的厚度或在製作時加入滑石粉和二氧化矽等措施來加以改善。

(七)煙燻

較常使用的煙燻劑為環氧乙烷氣體。經處理的飼料，營養成份變異不大，但必須放置在室溫環境中充分曝氣，以免葯劑殘留，影響動物生理特質。資料顯示，常見之殘留物為 2-chlorothenol，該物質經吸收後，會在肝臟中被代謝分解，這種情形可能會影響到肝功能之進行，進而對某些研究造成影響。環氧乙烷氣體對維他命和胺基酸的破壞程度，目前並無一致之說法。

(八)伽馬射線照射處理

通常運用在以穀類為主要組成之飼料中，其可承受至少 5 Mrad 之照射，而不會出現養分被破壞現象。部分之養分如硫胺酸、吡哆醇、維他命 E，可能會受到些微之影響。而就蛋白質之品質而言，幾乎沒有任何影響。飼料中若有水氣存在，經照射後，會產生 hydroxyl 自由基，此可能會對動物組織器官造成損害。歐美國家對實驗動物飼料之容許照射劑量，都有明確之規定。

(九)運輸

運送途中造成飼料損害的原因有：一、因擠壓而造成粒狀飼料顆粒破損；二、包裝破損；三、協調不佳而使飼料屯置於不良環境之中，導致營養成分流失變質或遭受汙染。在運送過程中，飼料應裝載在堅固之容器中，以避免外力破壞而受損。塑膠包裝可阻絕外界空氣及水接觸飼料，及因搬運而破損之可能性。但飼料本身必須完全乾燥，以避免在密閉包裝中長期存放，而發生潮解、長霉。厚紙袋也是很好的包裝材料，因除可提供保護、防雨外，也能提供通氣效果。運送飼料

時，要與其他物質區隔，以避免病菌及化學藥劑污染。

(十)飼料儲存區的環境條件

飼料中營養成分品質的穩定性，會隨溫度及濕度的降低而提升。在溼熱環境中，飼料變質速率會加快，微生物含量也會因濕度增加而快速孳長。任何一批飼料，保存期限長短會因儲存條件不同而有所差異。天然原料製造的飼料，若儲藏在空調環境，應在製造後六個月內使用完畢，添加維他命 C 的飼料，則應在 3 月內使用為佳。純化飼料及化學成分定義的飼料，因為所使用之原料成分較不穩定，此類飼料應保存在 4°C 以下之環境中，且應在製造後 6 個月內使用完畢。對長期儲存之飼料和儲存於條件較差的場所之飼料，於使用前應對養分作分析化驗，以確定實際含量。對不含抗氧化劑或含高量易敗壞成份飼料，如高油脂的飼料，須訂定特殊的處理及儲存標準。

高脂肪含量的飼料在製造及儲存時，有幾點因素，要特別注意：

1. 不飽和脂肪酸極易被氧化，造成必需脂肪酸的不足；
2. 氧化酸敗之脂肪，會使飼料適口性變差；
3. 高脂肪的飼料在製造時應添加抗氧化劑，以降低氧化變異之機率；
4. 為避免變質情形發生，積極措施為運用低溫冷藏貨櫃運交飼料，並可在封櫃前將貨櫃內部充填氮氣；
5. 用含高量不飽和脂肪酸飼料餵食動物，應每隔二十四小時至四十八小時，更換新鮮飼料；
6. 高脂肪酸飼料中宜添加額外之維他命，以減低體內過氧化反應產生；

野鼠及昆蟲不應出現在儲存區域，以免飼料因沾染糞尿而感染病原菌。飼料若遭微生物、腸道寄生蟲、節肢動物和黴菌污染時，極有可能導致動物染患疾病，並造成飼料的敗壞。

實驗動物管理者為確保飼料在儲存期間維持一定之品質，除對自身的儲存場所要有一定的管理規章外，同時應對飼料製造商及供應商之儲存場地進行評鑑，考量項目包括：蟲害防治、儲存條件及進出貨管理措施等。儲存場地要能夠防止蟲害侵入，且能維持在一低濕度及溫度〔天然成分飼料之建議儲存條件為 21°C、相對濕度在 50% 以下之氣候環境〕之條件。飼料存放需利用隔板，避免直接接觸地面；儲存位置應作調整，使舊飼料能被先利用。通常飼料袋上會記載製造及使用期限，但若在高溫高濕之地區且無良好之存放場所，則應在最短之期限中使用。天竺鼠及靈長類動物之飼料中有添加維他命 C，在儲存期間應特別留意，有無破壞嚴重而導致攝取不足之情形發生。開啟之飼料不應直接放置在儲存區內，而應放置於可防蟲害侵入之容器中並加蓋存放，並儘速使用。容器使用後應清洗乾燥後，才可再度使用。

五、飼料種類及運用

(一)粒狀飼料 (pelleted diets)

實驗動物飼料最常見的為顆粒狀，這種飼料是將磨碎的原料加水混勻後，再將之擠壓通過鑄模以形成顆粒。篩孔孔徑大小及形狀，決定飼料外形，而旋轉刀片控制顆粒的長度，最後在加以乾燥成形。有時在製作時會加粘結劑以增加顆粒

品質。粒狀飼料的優點為：1.易於處理，儲存及使用；2.減少動物房內的粉塵；3.可避免動物挑食原料成份；4.減少浪費。缺點為不易再添加欲測試之物質於飼料中。

(二)擠壓飼料 (extruded diets)

擠壓飼料與粒狀飼料不同之處在於前者是在高溫高壓下被擠過鑄模，通過後旋即讓顆粒膨大。因此密度比粒狀飼料低。擠壓飼料適用於，如狗、豬、猴子等動物，但不適合啮齒類動物使用，因密度低鬆散，採食時較容易形成浪費，且製作成本比粒狀飼料高。

(三)粉狀飼料 (powder diets)

粉狀飼料也常被用於動物實驗，主要原因在於容易將測試物質與飼料混合。缺點為粉狀飼料在儲存期間容易結塊。且需與特殊飼料槽配合使用，否則極易造成浪費，降低利用效率。測試物質若具毒性，在操作時應特別小心，以免產生粉塵危害到周遭的生物。解決粉塵問題可將其與果凍粉及水混合，製成果凍，切塊餵食。若採用此種方法，則果凍中所含有的碳水化合物，胺基酸及礦物質的含量，都要計算在內。果凍飼料應存放在冰箱中，以避免微生物孳生，同時必須每天更換，以保持飼料之新鮮度。

(四)碎粒飼料 (crumbled diets)

碎粒飼料是將粒狀飼料或擠壓飼料壓碎，再利用篩網區分出顆粒大小，分別用來餵食不同的動物，包含鳥類及魚類。理論上此種飼料的每個顆粒應含均衡之營養成分。雖無粉狀飼料的缺點，然而不常被使用在啮齒類動物上。

(五)液體飼料 (liquid diets)

基於特殊的需求而產製的，例如要利用過濾方式來滅菌飼料，或用來測試酒精對養分需求與利用之影響。有時候，純化飼料會加水製成液體型式來餵飼動物。初生動物常常餵予由乳製品製成之液體飼料。液體飼料必須放入冰箱保存，避免微生物滋生。

(六)純化飼料 (purified diets)

利用純化的營養成份，如碳水化合物（澱粉、蔗糖）、蛋白質、維他命等原料，所製造出飼料稱之為純化飼料。其優點為：1.可以用固定配方生產出相同的飼料；2.可以任意調整成份比例，以觀察養分間的關係。然而這些原料還是有可能含有其他營養元素，如酪蛋白（casein）和乳白蛋白（lactalbumin）中會有鈣和磷的存在；或者在未處理的玉米油中，會含有維他命E。純化飼料製造費用會比天然原料之飼料（natural-ingredient diets）高出五到十倍，且不宜長期用於餵食維持階段的動物。

(七)化學成份定義飼料 (chemically defined diets)

利用基本的營養成份化學元素，如葡萄糖、胺基酸等合成的飼料稱之。此類飼料適用於營養性實驗，免疫性實驗（極低之抗原含量）。可製成液體狀並利用過濾消毒，而使用在無菌動物飼養條件上。此種飼料與純化飼料兩者在應用上較不普遍，原因在於購製成本較高、飼料本身適口性較差、且其保存期限會比一般飼料短。

(八)配種及維持飼料

為滿足雌性動物於懷孕與泌乳期間，及年幼動物於快速生長階段中，生理代謝對養分需求的增加，而供應特殊飼料是必須的。同樣地，用配種飼料來飼養所有的動物是不經濟的，且導致動物過度肥胖。採用不同飼料來飼養動物，其缺點為，1.製作成本增加；2.增加管理上的複雜性。因此，單位應依其任務特性，來選取最合適之飼料，例如會經常使用數目較龐大的動物進行長期性實驗時、基於成本經濟因素，則可考慮配製較低養份濃度含量的飼料。

(九)人工餵飼

利用人工餵食技術來養育實驗動物，是件費時費力工作。因此，這種技術通常只運用在產製特殊動物，如無菌動物或進行免疫實驗（避免乳汁中之免疫系統干擾）。

一般而言，雌性動物所分泌之乳汁，其成份會因幼小動物之成長速率的不同有所差異。成長速率較快之小型動物與成長速率較慢體形較大之動物相比較時，其乳汁中所含有之能量與蛋白質成份均較高。

資料顯示利用牛奶，人工合成牛乳或人乳為基礎所調製出之人工餵食配方，在餵飼實驗動物，具有極佳之效果。目前人們對不同動物所分泌乳汁成份，並不是十分明瞭，因而針對某一特定動物來調製特殊之乳汁，在開發過程中嘗試過程是難以避免的。另外，餵食技術之純熟度也是人工哺育成功因素之一。

(十)術後動物的營養需求

實驗操作會增加動物對養分的需求。額外的養份需求，主要在復元修補組織之用。一般對經過手術操作的大型高等動物（如貓、狗、猴子等），通常會給予特殊的食物以鼓勵其進食。同時也供應所需的養分。例如給予牛奶和高單位養分之液狀食物，另外再補充蛋及肉。就狗貓而言，可供應加味飼料，或以肉為主的飼料。有時候，利用餵食管直接供應動物必須之養分，對手術後的動物而言，也是必要的措施。

(十一)補充料

近年來，人們對於維護實驗動物福祉之觀念，益形重視，因而有些學者建議應將水果、新鮮蔬菜、種子及麵包等，少量搭配在每日飼料中給與，藉以改善動物採食的意願。然而這種作法往往僅是基於人類主觀的意識而做的決定，非但無法對動物提供任何益處反而會對動物造成傷害。因為這類補充料往往不是均衡之食物，攝食後，會導致動物營養不均之情形。再者，這些補充料的養分成份及含量變異頗大，攝取後，會增加實驗定義上的困擾。而且變成一種規律性的作為，對正規飼料養分之吸收產生稀釋的效果，因此若一定要餵予時，應該當作開胃劑般偶而給予。

給予實驗動物新鮮的補充料，尤其是動物性者，因衛生條件較難掌握，因而會提高微生物傳播感染疾病的危機，尤其對隔離區內之動物危害更大，因此應加以避免。如果無法完全避免，而必須餵予動物新鮮蔬果時，務必利用乾淨水源將蔬果表面徹底洗清，或摘除表皮和外層葉片等，以降低微生物的數目。對當天未食用之補充料，必須加以清除，以杜絕腐敗污染之機率。補充料的給與，若事前

知道會導致動物行為異常、感染疾病或影響實驗結果時，則不宜實施。

(十二)食糞行為

常見於啮齒類動物及兔，其作用是將腸道微生物產製之養分藉由攝食糞便，再吸取利用。像天竺鼠和家兔，因腸道末端中含有纖維水解酵素，藉食糞行為可將排泄出之代謝產物（如碳水化合物）再吸收，作為能量的來源。然而這種行為有時會干擾實驗結果，例如追蹤吸收速率和物質之利用率，因此必須加以限制。常採用之限制方式，如大型頸圈用於兔和尾杯用於鼠類，或使用網底或特殊設計之飼育盒。

六、飼料滅菌處理

實驗動物飼糧不應含有任何病原微生物，因而用以餵飼動物之飼料必須先經滅菌處理，目前常採用的方式有：化學煙燻法、高溫蒸氣加熱處理或加馬射線照射處理。另外一種煙燻藥劑，環氧乙烷，因 1. 有毒性殘留之疑慮；2. 氣體本身為易燃物且具爆炸性；3. 滅菌過程費時、且需特殊設備，近年來較不為人所採用。

高溫蒸氣滅菌為最普遍之方式，通常可配合建物即有之鍋爐設施使用，滅菌鍋安裝時可嵌入牆內，讓滅菌處理過之物品可直接進入隔離區中，而不須再包裝處理之手續。

加熱處理會造成部份營養份之破壞，破壞程度與溫度及處理時間長短成正比。因而在飼料中要另外添加，以彌補因加熱而被破壞之養分。目前有些滅菌鍋設備具抽真空裝置，使溫度能迅速達到設定值，並將蒸汽均勻分散至各處，如此可以大幅縮短滅菌時間，使養份破壞程度降至最低。

輻射照射處理方式對飼料成份影響最小，目前資料顯示只有一些脂溶性維他命在處理後會有些許之減少。唯一之缺點為設置照射廠的成本相當高，處理費用也比蒸氣滅菌費用高。無菌動物飼料，建議照射劑量為 35~50kGy，若為無特定病原動物則可使用 25 kGy 以下之劑量。

七、營養缺乏的影響

(一)蛋白質及胺基酸

飼料中蛋白質添加不足或品質不良時，會造成必需胺基酸含量不足。此時會影響動物生長速率及繁殖性能。在近親品系中，雖然對母鼠不會有明顯的影響，但是會造成每窩仔鼠數減少、出生仔鼠之體形也會較小。飼料中蛋白質或必需胺基酸嚴重缺乏時，產乳量會降低，離乳前仔鼠數死亡率也會增加。長期性之蛋白質缺乏會使鼠生殖能力降低受損。

(二)熱能

飼料中熱能含量不足，對動物個體所產生的影響程度，會依生長階段不同有所差異。通常會造成動物健康狀況受損、生長不良、繁殖性能降低等狀況。一般而言，飼養在實驗室的動物，所需要的熱能需求相當低，而於一般飼料中所供應的營養份也往往高於動物之需求量，在此條件之下，產生缺乏之機率應是微乎其微的。若生理機能是處於快速生長、懷孕及泌乳階段，對熱能之需求即會因此而增加。熱能需求以 MJ/day 來表示，實際需求與個體之代謝體重有關，一般而言，就維持、生長、懷孕及泌乳其熱能所需分別為 0.45、1.20、0.60 及 1.30 MJ/day。

通常，日糧中熱能缺乏對成長快速的年幼動物及泌乳之母鼠影響之最大。發育中的胚胎往往需要較高之葡萄糖供應，而為了維持其體內血糖之濃度，往往會藉由母體貯存之部份而加以轉換利用。因此飼料中若能量缺乏往往會先表現在母鼠身上，對胎兒的影響會較輕微。

(三)礦物質

礦物質缺乏尤其是微量元素，會造成代謝機能異常，然而這種現象在動物個體外觀上並不顯著，通常會直接表現在相關身體部位，例如鈣和磷不足會造成骨骼生長異常，而缺鐵則會造成貧血症狀。

(四)維他命

飼料中維他命缺乏會造成代謝機能異常。這種變化往往可由生化值，如酵素活性，和生理機能觀察出。然而同一種維生素其表現程度在不同種類之動物個體會有所不同。維他命之缺乏症狀，往往會出現在特定之臟器中，或在不同動物中產生程度不一之病症，這些現象，目前尚無合理的解釋。

八、營養過剩

(一)維他命

多數之水溶性維他命，除了維他命B₁₂以外，均可為身體快速地代謝排除，因此過量給予，對動物並不會造成傷害。而就脂溶性維生素而言，因其會在體內堆積貯藏，因此在添加時須考慮動物之需求量。過去曾經有因維他命A攝取過量而產生中毒之現象。維他命A會造成胎兒畸形，因此在懷孕母鼠之飼料中維他命A的含量應控制在正常範圍值內。胡蘿蔔素並無有害之效果被報導。

維他命D的毒害效果，就實驗動物而言具有潛在之危險性，尤其可能發生在長期性之實驗動物中。上皮組織經紫外線照射後可產生此種維他命，此反應亦可在實驗室中進行。如果飼料中的鈣和磷含量足夠，且添加之比例正確的情況下，多數動物應可不需至飼料中獲取維他命D。目前市面上所售之飼料，習慣上都會添加維他命D，所建議的添加量也過於籠統。柔軟組織的鈣化現象，為維他命D中毒之先期症狀，此尤其會發生在腎臟中，常見於年老動物之腎鈣鹽沈著病(nephrocalcinosis)，是因為長期餵食維他命D所造成的。過量之維他命D會導致畸形，因而在育種動物飼料中應添加適量即可。維他命D可有效地自母體轉移至子代中，因而在進行缺乏性實驗時，母鼠飼料中維他命D之添加量亦需加以控制。天然維他命K₁是為一無毒物質，而合成的維他命K₃當高劑量使用，時會造成肝臟損傷。

(二)礦物質

礦物質攝取量可有較大的容許範圍，因而較不易於動物體內產生中毒現象。通常動物個體可藉由身體之恆定機制來調節組織中礦物質含量，且在飲水未受限制的情況下，多餘的礦物質可被排出體外，因此一般中毒情況發生之機率相當低。然而就某些微量礦物質而言，如重金屬類之礦物質，採食過量會導致動物中毒。這種狀況通常發生在飼料原料或飲用水源被污染時而造成；在調製添加礦物質前，因先就一些可能造成污染之原因，做評估分析，以杜絕污染之可能性，減少中毒之發生率。

參考文獻

1. 朱友梅、黃暉煌(1993) 實驗動物及寵物飼料 (增修版) 畜牧要覽飼料篇 第十一章中國畜牧學會編印發行(民國八十三年)。
2. 張維正 黃士軒 實驗動物管理及使用手冊 (Guide for the Care and Use of Laboratory Animals) (譯本) (1997) 岑祥公司發行(民國八十五年)。
3. General considerations for feeding and diet formulation (1995) Nutrition Requirements of Laboratory Animals, National Academy Press, pp. 3-11.
5. ME Coates. Nutrition and feeding. The UFAW handbook on the care and management of laboratory animals. Seventh edition.
6. Refining rodent husbandry: the mouse. Laboratory animals (1998) 32, 233-259.
7. Rao GN and Knapka JJ.(1987). Contaminant and nutrient concentrations of natural ingredient rat and mouse diet used in chemical toxicology studies. Fundamental and Applied Toxicology 9:329
8. Guide for the care and use of laboratory animals: eighth edition. 2010. The national academies press.