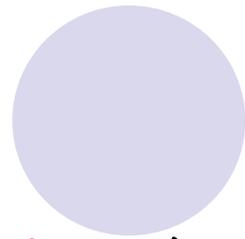
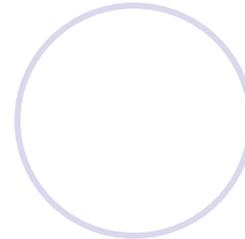
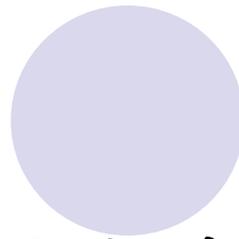
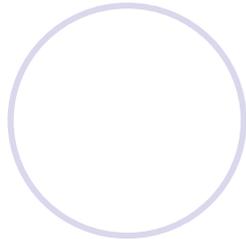
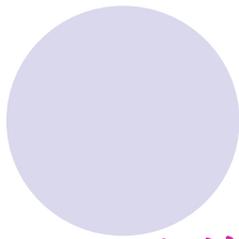


落葉堆肥的應用與落葉堆肥箱技術

鍾仁賜



我國**肥料管理法** (1999/06/16公告)中所謂的**肥料**，係指供給**植物養分**或促進**植物養分**利用的物品。

中國古時糞字的意義是指凡加到田裡用以持續再生產的物質，今日稱之為肥料。

先秦時代將野生綠肥稱為“草糞”，栽培綠肥稱為“苗糞”，此外，利用作物的槁、稈、米糠、腐草及敗葉所堆製者稱“踏糞”，還有燒製“火糞”。

清代楊雙山(1687-1758A.D.)將肥料分為十大類：即人糞、牲畜糞、草糞、火糞、泥糞、骨蛤灰糞、苗糞、渣糞、黑豆糞、皮毛糞。

日語コヤシ、英語manure、德語Duenger、法語Manoeuvre，均有動物排泄物意思

堆肥之製作，可以陳專農書中所敘述者為代表。

“凡居之側，必置糞屋。

糞屋之中，低為簷楹，以必風雨飄浸。

且糞露星月，亦不肥矣。

糞屋之中，鑿為深池；

甃以磚甃，勿使滲漏。

凡掃除之土，燒燃之灰，簸揚之糠粃，斷槁落葉，

積而焚之，沃以糞汁。

積之既久，不覺其多”。



2025/4/27



2025/4/27



2025/4/27





2025/4/27



2025/4/27



2025/4/27



2025/4/27



2025/4/27



2025/4/27





2025/4/27



2025/4/27

珍惜資源 · 再造資源

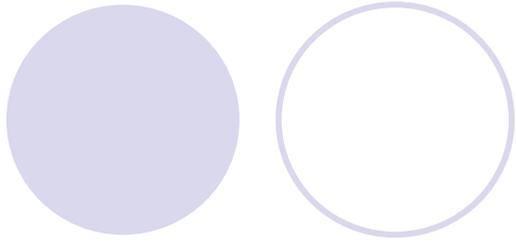
脫臭槽



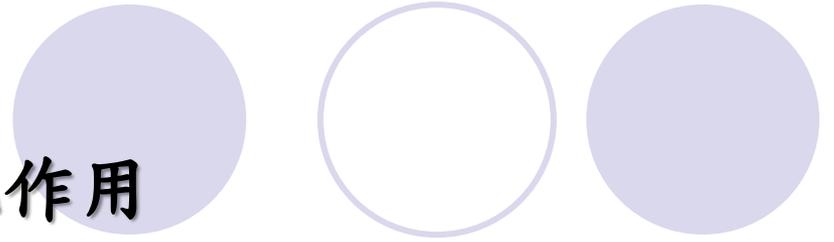
2025/4/27



2025/4/27



堆肥化作用



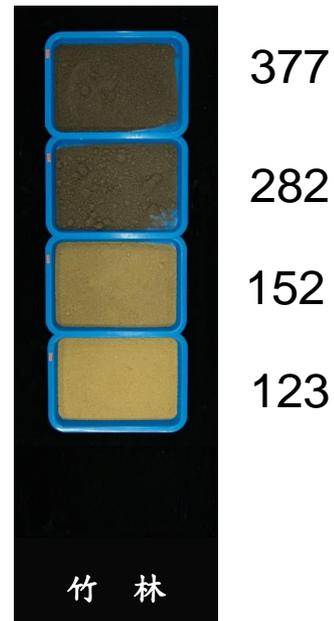
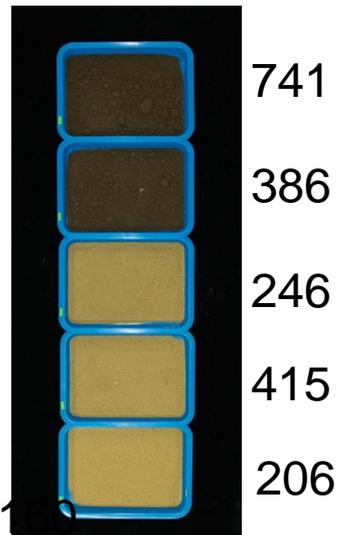
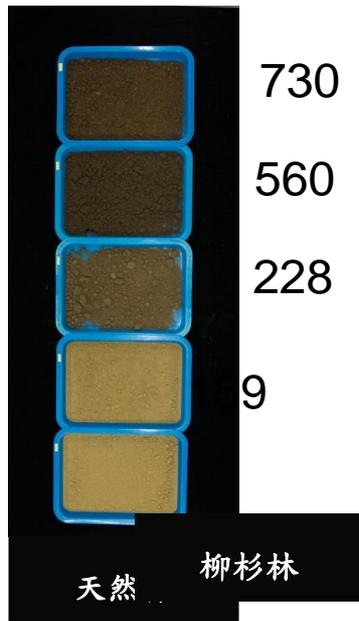


有機廢棄物為甚麼要做堆肥

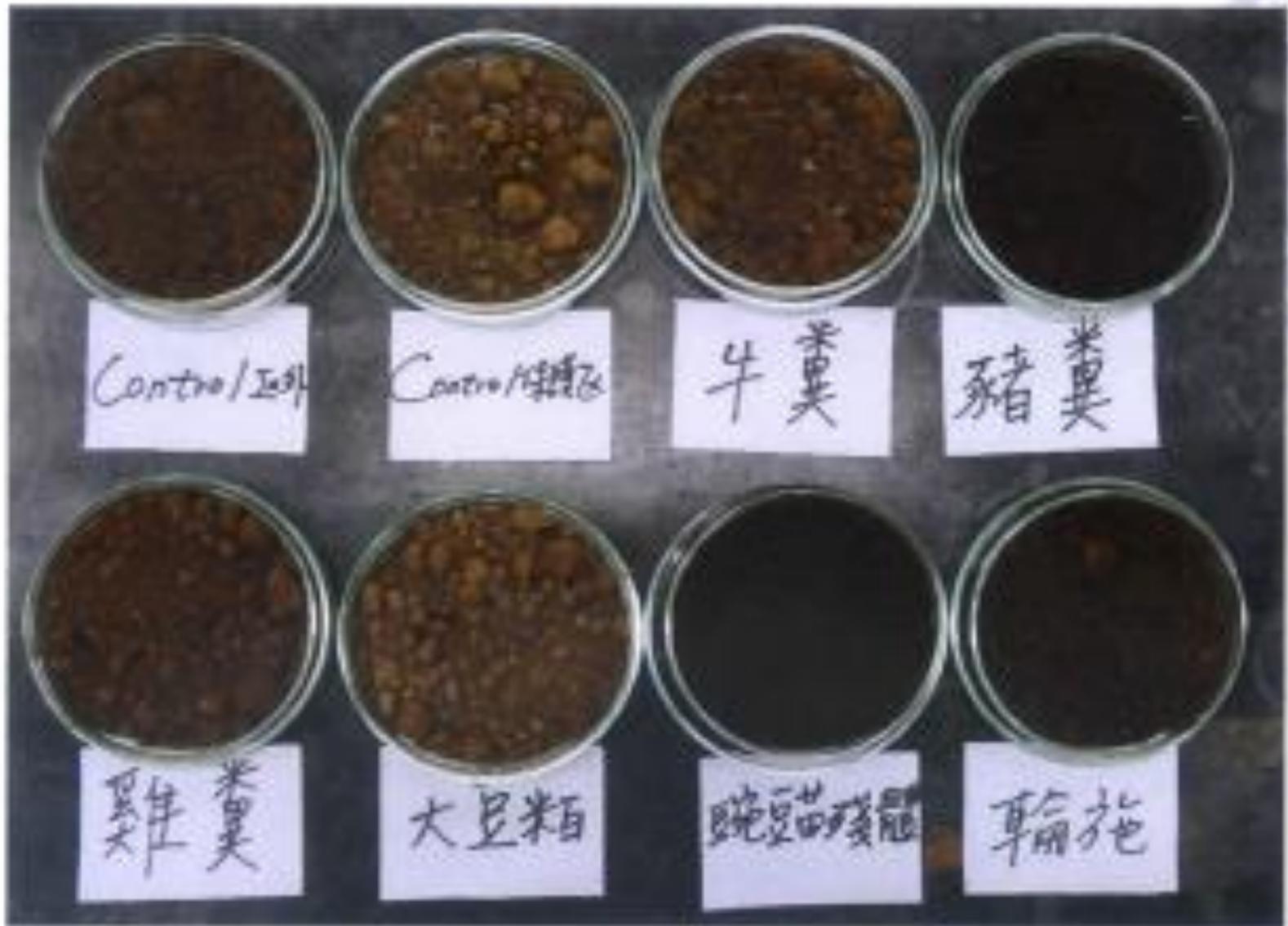
資源回收再利用

很好的肥料

減慢碳的循環，減少溫室效應



三種林相之土壤剖面及土壤樣品



17年



2025/4/27



2025/4/27



有機物分解形成之小分子有機酸，也對植物有害：抑制發芽、根之繁殖及減少產量。

未腐熟堆肥也含有較多之水溶性有機化合物，若施肥後遇下雨，則造成污染。

Golveke (1977) 定義**堆肥化作用 (composting)** 為在人工**控制條件**之下，將固體有機廢棄物經由生物分解作用，使其中的有機物分解為對環境**無負面**作用的安全無害成分，而適於處理、貯存及/或施用於農地；

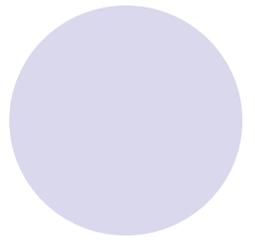
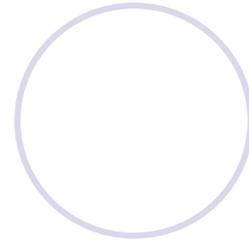
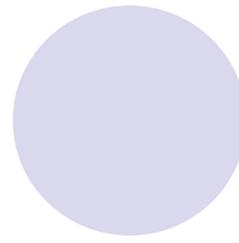
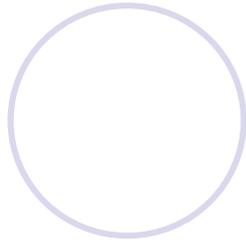
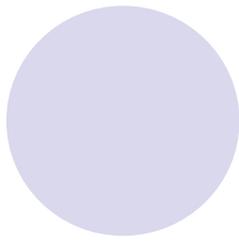
De Bertold 等人 (1984) 則定義堆肥化作用為經由微生物反應，使有機物質**礦化**及部分**腐植化**，堆肥化過程中所涉及之反應包括有機廢棄物的**分解**、能量的釋放、**微生物** (新生質, new biomass) **之合成**及微生物的代謝等反應。

Rynk (1992) 定義堆肥化作用為微生物將有機物質如廢肥、污泥、葉片、紙及食品廢棄物轉變為像土壤之堆肥。

當易分解的有機物被完成分解之後，堆肥的微生物活性會逐漸減弱，而堆肥的組成也達於穩定。

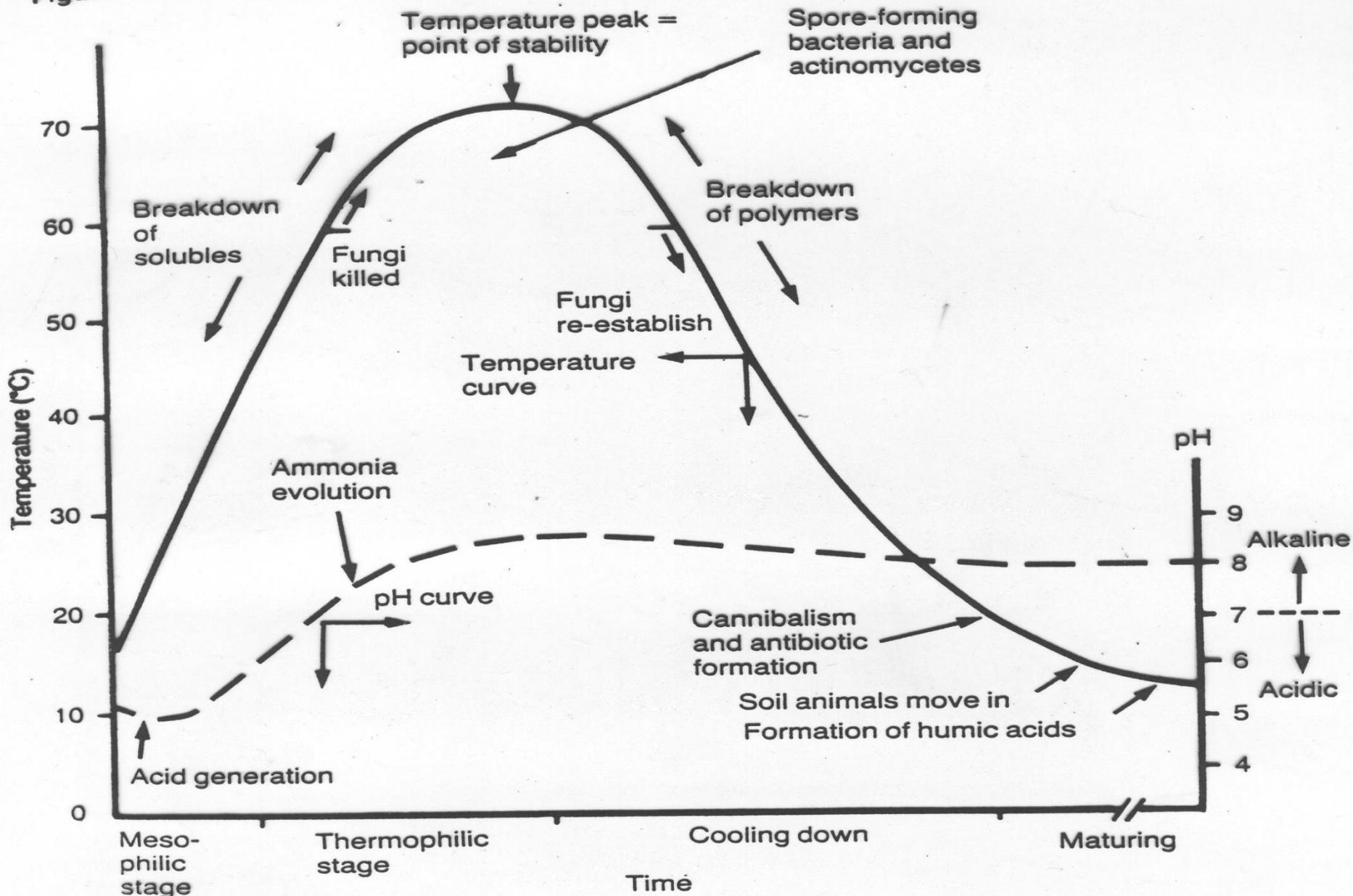
經由堆肥化作用，堆肥中的大分子有機物分解為小分子者，或被微生物利用或更進一步分解為小分子無機物，如銨離子、硝酸根離子、氮氣、二氧化碳。

堆肥之穩定度則主要著眼於衛生安全的考量與對植物的影響。



肥化過程中，所產生之熱使堆肥之溫度上升至**60°C**以上，可以殺死堆肥原料中所帶之**病原菌**及**雜草種子**，防止疾病與雜草散佈。

Figure 4.1 Temperature and pH variations in a compost heap.



常見之病原菌對溫度之敏感性

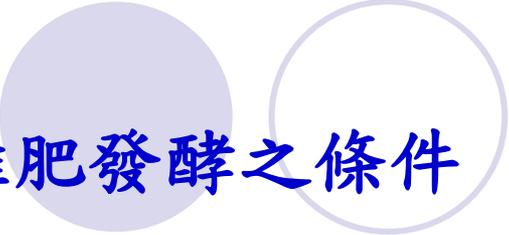
類別	病名	病原	溫度，時間	
病毒	新城雞病	Paramyxovirus	56°C， 6h	
	傳染性支氣管炎	Coronavirus	56°C， 15 min	
	傳染性喉頭氣管炎	Herpesvirus	30°C， 5 min	
	馬立克病	Herpesvirus	60°C， 5 min	
	雞瘟	Poxvirus	60°C， 8 min	
	家禽流行性感冒	Orthomyxovirus	56°C， 30 min	
	傳染性滑氏囊炎	IBDV	56°C， 5 h	
	口蹄疫	Picornavirus	70°C， 15 s	
	假性狂犬病	Herpesvirus	70°C， 5 min	
	豬瘟	Togavirus	60°C， 10 min	
	傳染性腸胃炎	Coronavirus	45°C， 45 min	
	細菌	黴漿菌症	Mycoplasma	56°C， 30 min
		雞白痢	Salmonella	60°C， 5 min
		傳染性可利查	Haemophilus	55°C， 6 min
巴氏桿菌症		Pasteurella	60°C， 30 min	
葡萄球菌症		Staphylococcus	60°C， 60 min	
豬丹毒		Erysipelothrix	56°C， 10 min	
寄生蟲		球蟲症	Coccidia	45°C， 24 h
	蛔蟲症	Ascarids	54°C， 5 min	

病原菌與寄生蟲致死溫度與時間

種類	溫度	時間
傷寒菌 <i>Salmonella typhoas</i>	55-60°C	30 分鐘
沙門氏菌 <i>Salmonella spp</i>	56°C	60 分鐘
赤痢病菌 <i>Shigella col I</i>	55°C	60 分鐘
大腸桿菌 <i>Escherichia coli</i>	55°C	15-20 分鐘
化膿性連鎖球菌 <i>Streptococcus pyogenes</i>	54°C	10 分鐘
白喉菌 <i>Mycobatreium dipheriaw</i>	55°C	45 分鐘
牛、豬流感菌 <i>brucella abortrsoruis</i>	61°C	30 分鐘
赤痢阿米巴 (囊子) <i>Endamoebahisgolytica</i>	55°C	
無鈎條蟲 <i>Taenia saginata</i>	55-60°C	5 分鐘
旋毛蟲 <i>Trichnella spiralis</i>	62-65°C	
美洲鈎蟲 <i>Necator americanus</i>	45°C	50 分鐘
蛔蟲(卵) <i>Ascaris iumbricoides (eggs)</i>	60°C	15-20 分鐘

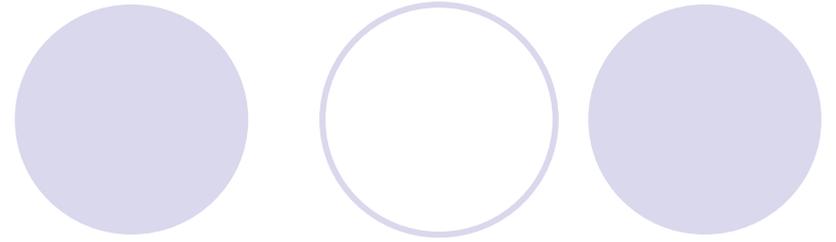
表一、堆肥溫度對種子發芽之影響

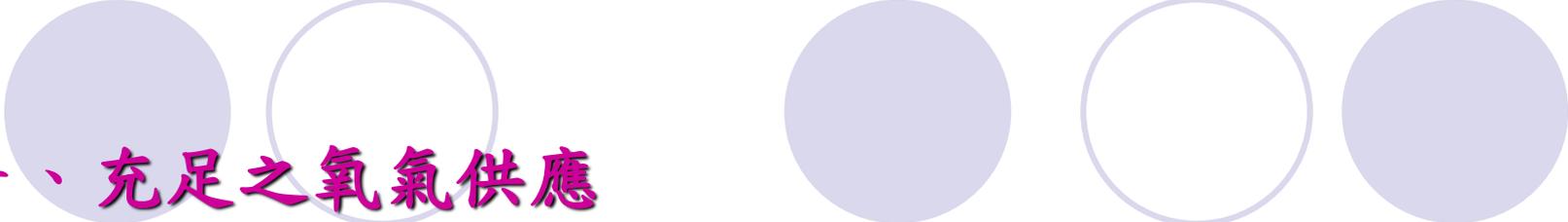
種類	發芽率，%		
	在堆肥表面 低於 50°C 放 11-14 日	在堆肥中 60°C 、放 2 日	控制組
<i>Digitaria adscendens</i>	96	0	74
<i>Penicum villosum</i>	72	0	87
<i>Cyperus microiria</i>	56	0	30
<i>Cheopodium album</i>	26	0	16
<i>Portuaca oleracea</i>	85	0	91
<i>Amaranthus blitum</i>	68	0	70
<i>Acalypha australis</i>	7	0	51
<i>Oryza sativa</i>	75	0	98
<i>Hordeum vulgare</i>	16	0	96



堆肥發酵之條件

- 一、充足之氧氣供應
- 二、適當之水份
- 三、溫度
- 四、碳氮比
- 五、酸鹼值
- 六、混合均勻
- 七、堆積高度
- 八、發酵時間





一、充足之氧氣供應

堆肥發酵過程中，若氧氣不足，則產生嫌氣發酵，使其中之有機態氮形成**氨**、硫形成**硫化氫**等具有臭味之化合物，並且也造成氮之損失，因此，發酵過程中應充分供應氧氣，以**避免**嫌氣發酵。



2025/4/27



圖11 醱酵槽配合自動攪拌機構造



2025/4/27



2025/4/27



二、適當之水份

堆肥發酵過程中，水份少於**30%**時，則微生物之生長受到抑制，高於**70%**時，則造成空氣不足，成為嫌氣狀態。

適當之含水率為**65%**。

故可選擇含水量不同之有機質加以混合或加入適當量的水，使其水分含量在適當的範圍內。

三、溫度

堆肥發酵過程中，溫度逐漸上升，高溫可達**70-80°C**，此時主要生長之微生物為**放線菌**，中溫時則為真菌。

真菌分解纖維素、木質素之速率為細菌及放線菌之**10-100**倍。

真菌生長溫度上限為**62°C**，故適當之溫度應維持在**65°C**以下。

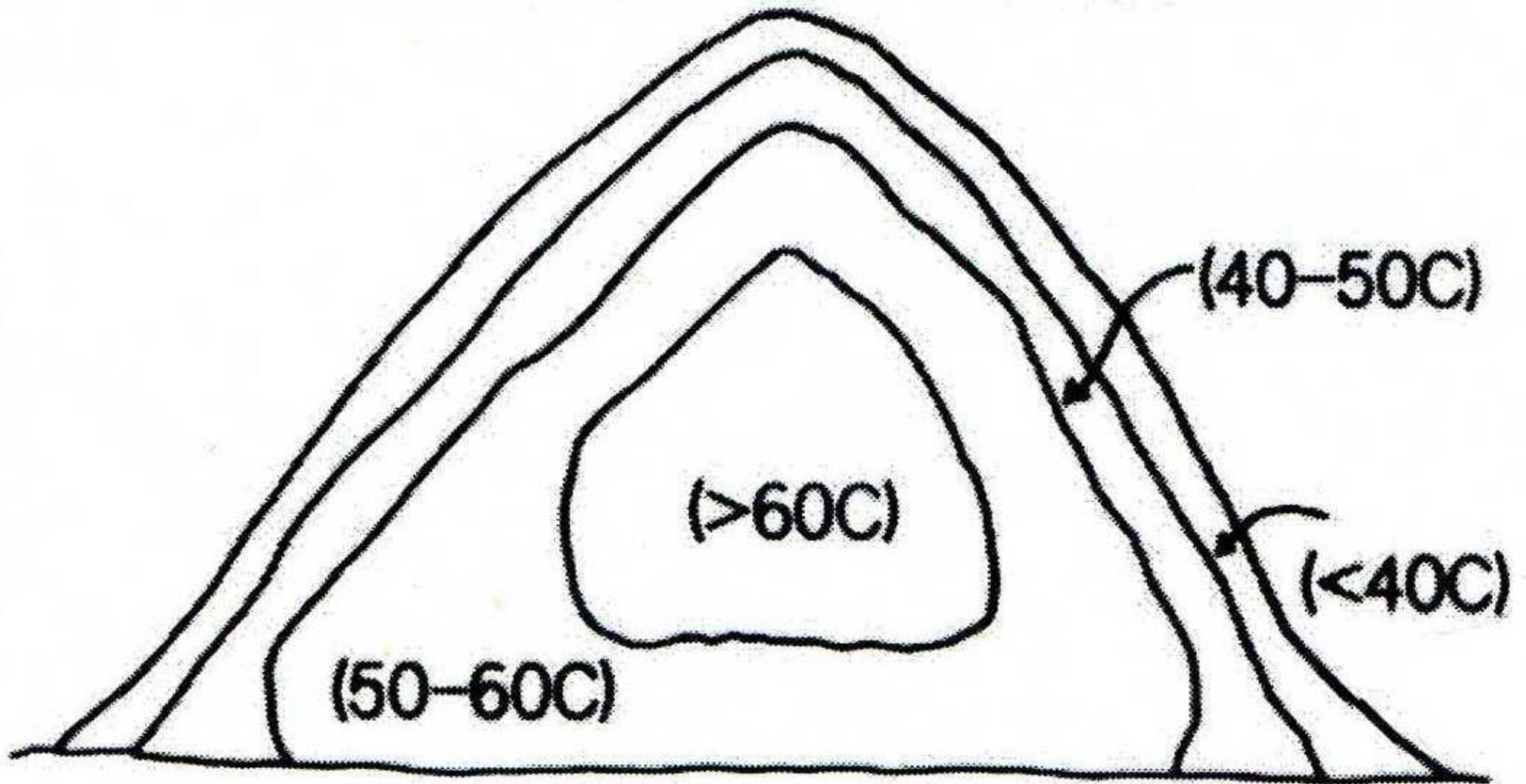


Fig. 1. Diagram illustrating temperature zones in a bark compost pile.

Chung and Hoitink, 1990. *Phytopathology*, 80:73-78.

TABLE 2. Microbial populations in bark-compost media prepared with composts removed from four temperature zones in a compost pile

Compost temperature (C)	Population (log cfu/g dry weight)					
	Bacteria 細菌		Fungi 真菌		Actinomycetes 放線菌	
	CT ^a	RT ^b	CT	RT	CT	RT
<40	...	7.3 ± 0.1 ^c	...	5.5 ± 0.2	...	4.5 ± 0.1
40-50	7.3 ± 0.1	7.0 ± 0.2	4.9 ± 0.1	4.4 ± 0.1	5.5 ± 0.1	5.8 ± 0.2
50-60	6.7 ± 0.2	6.8 ± 0.1	4.1 ± 0.1	ND ^d	6.1 ± 0.1	4.4 ± 0.1
>60	6.3 ± 0.1	6.6 ± 0.1	ND	ND	6.1 ± 0.2	3.9 ± 0.3
LSD _{0.05}		0.2		0.4		0.3

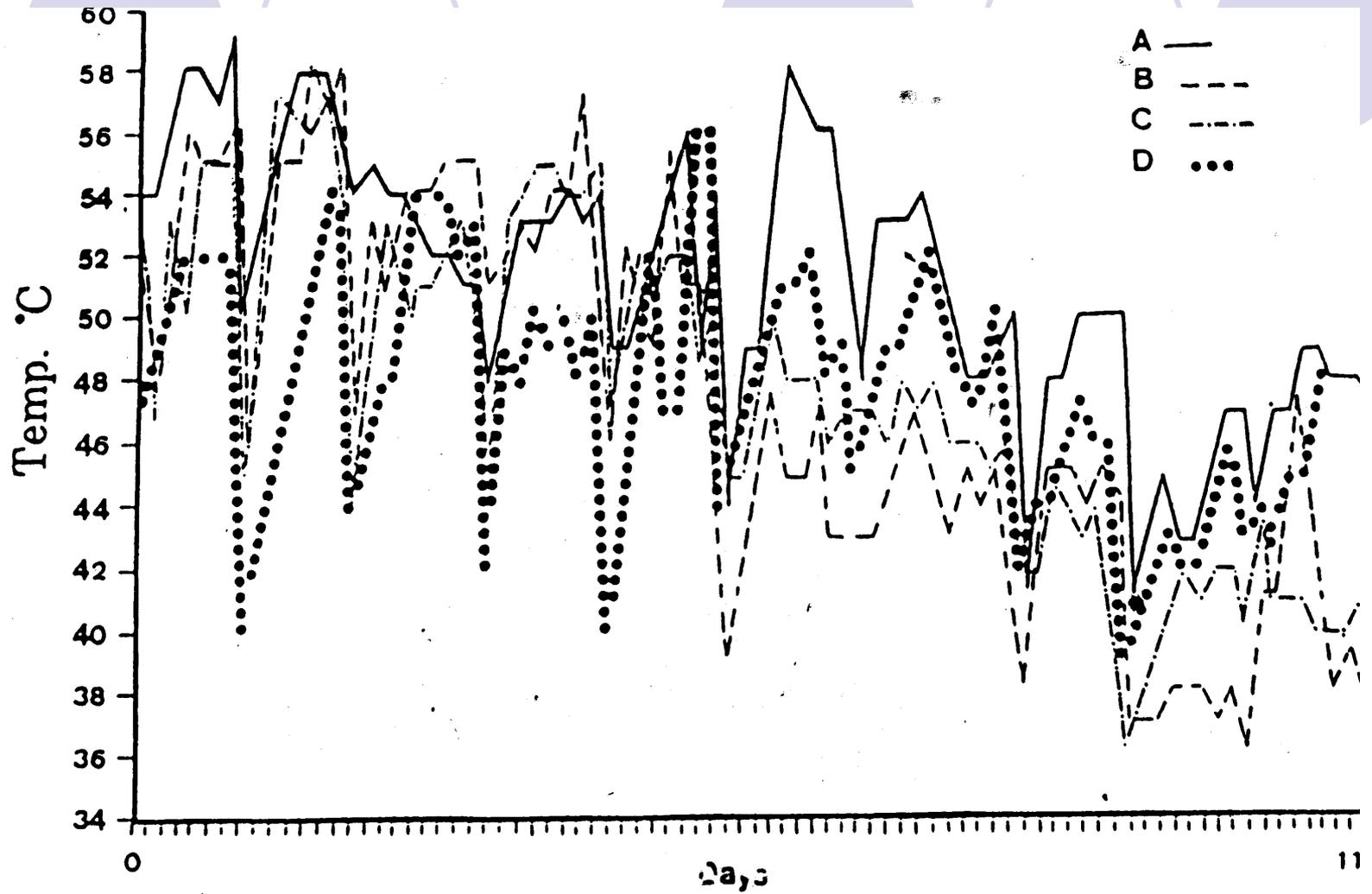
^aCT = Population densities determined after 5 days of incubation at mean compost temperature.

^bRT = Population densities determined after 5 days of incubation at room temperature (25 C).

^cMean population densities followed by standard deviation, based on three replicates per treatment.

^dPopulation density < 10² cfu/g dry weight.

Chung and Hoitink, 1990. Phytopathology, 80:73-78.



圖二、堆肥製程中溫度之變化

Fig. 2. Temp. change during piling

2025/4/27

四、碳氮比

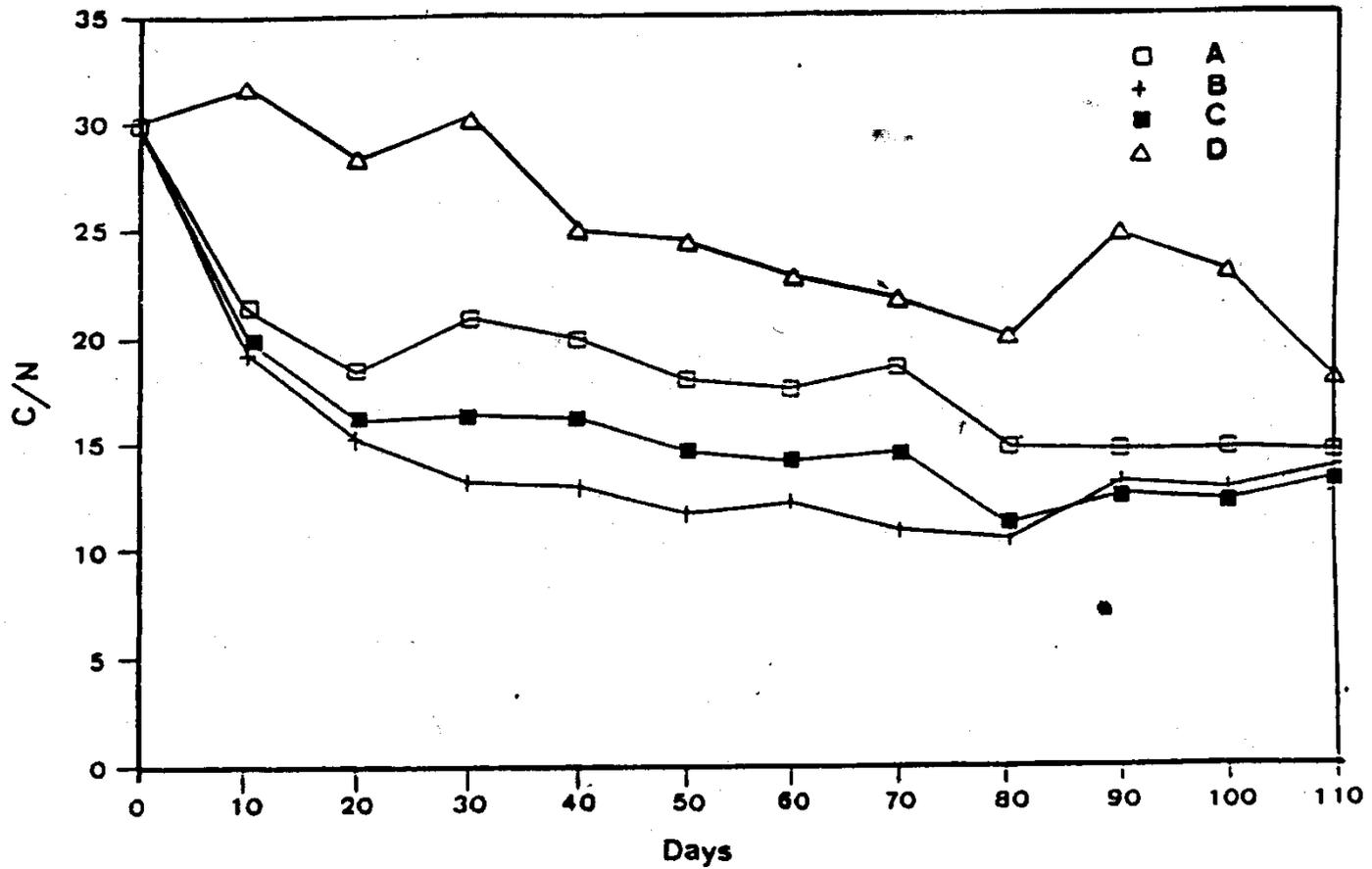
微生物活動所需之能源是堆肥中之碳，氮則為合成蛋白質所需，故適當之碳氮比為**20-30 : 1**。

牛糞之碳氮比為**20-30 : 1**，豬糞為**10-14 : 1**，雞糞為**10-14 : 1**。

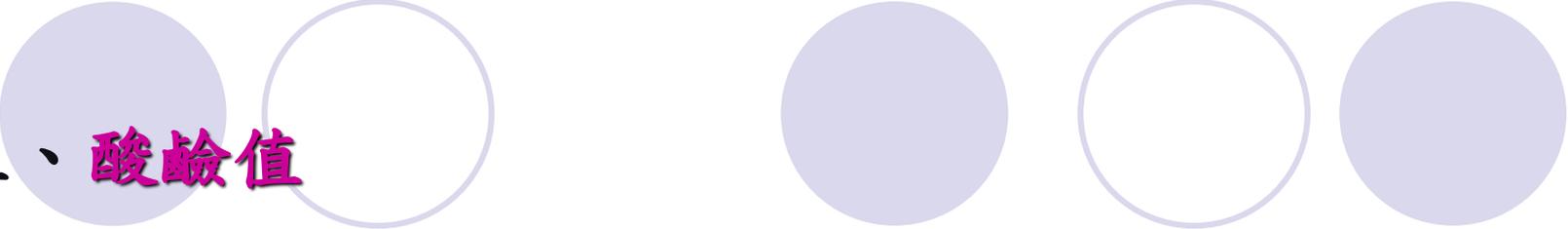
因此，不同來源之有機物視其碳氮比而決定是否應添加其他資材，以使其碳氮比接近**20-30 : 1**。

木屑含木質素**250-300 g/kg**，不容易分解，是碳氮比小之有機資材之適當調整材；

以稻殼、蔗渣、稻草為調整材則需加以適當粉碎，以提高商品價值。



圖一、堆肥製程中堆積過程C/N之變化
 Fig. 1. C/N change during piling

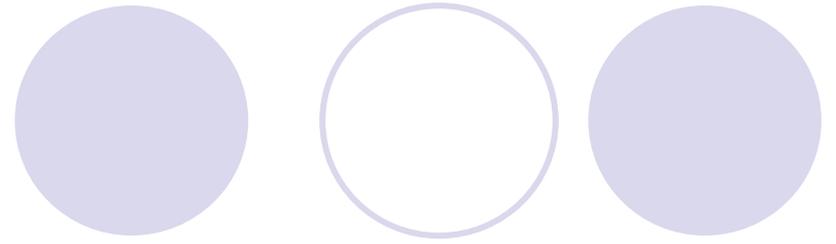


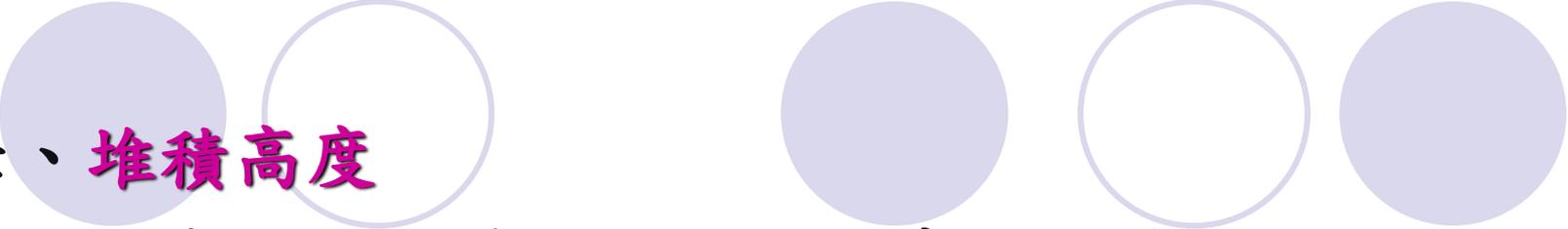
五、酸鹼值

利於堆肥發酵微生物適當之酸鹼值為pH 7-8。

一般禽畜糞之pH低，堆肥原料混合石灰以提高酸鹼度是一常用之方法。

六、混合均匀





七、堆積高度

堆積越高，容積重越大，堆肥中之孔隙越小，供氧不易，形成嫌氣發酵；

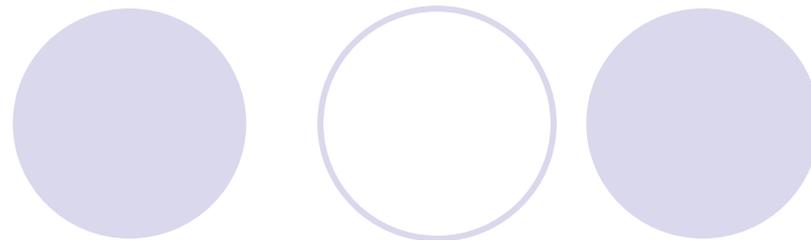
堆積越薄，發酵產生之熱容易消散，堆肥溫度不易上升且水份蒸發快。

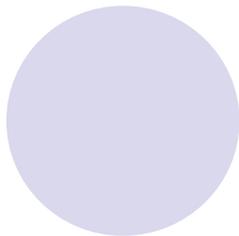
適宜之堆積高度，以不超過**1.5 m**為宜，機械翻堆則以**1-1.5 m**為宜。



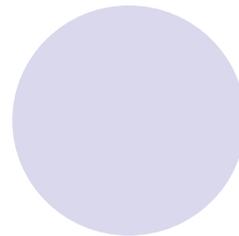
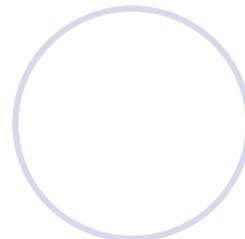
堆肥發酵之前處理

- 一、調整水份
- 二、調整碳氮比
- 三、調整有機質
- 四、混合均勻





堆肥發酵時之處理



一、發酵微生物

接種被用於減低或消除堆肥化作用初期之遲滯相 (lag phase)。

理論上，可以引進相當量的微生物，此則是藉接種而使生物活性在沒有遲滯相的情況下即進行。

但是有許多失敗的例子，失敗的原因是接種菌敵不過原生菌。

有效的接種或成功的接種的例子為常出現在均質的材料中，如稻草、木材。

研究也顯示接種僅在含少量微生物之原料之初期有效。

接種與否不影響達到高溫之時間、二氧化碳的總釋出量及將堆肥中之物質轉換量、堆肥中之水分含量也不受影響、碳氮比相同。

二、充分供應氧氣

堆肥發酵過程中應充分供應氧氣，以利發酵作用之進行，以送風之方式供應氧氣，尚可以驅除發酵所產生之熱，使堆肥維持在適當之溫度。

送風也會帶走堆肥之水分，造成水分不足而影響發酵，故需有灑水之設施。

標準送風量為 $0.15-0.2 \text{ m}^3/\text{Mg}/\text{min}$ ，以容量計則為 $0.05-0.1 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{min}$ 。

送風時間為送風五分鐘停止二十分鐘。

三、控制溫度與水分

堆肥發酵可使溫度上升至**70-80°C**，但溫度太高亦不利於微生物之繁殖，適當之溫度應維持在**60°C**左右，故需藉翻堆與送風控制發酵溫度，但是翻堆與送風也會使水分損失，故需**補充水分**。

堆肥化作用之**最適溫度**約**60°C**。



在堆肥中中溫與高溫細菌、放線菌及真菌均可分離得到；

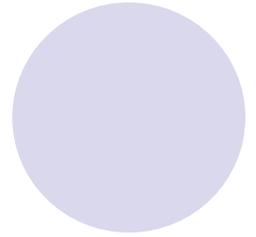
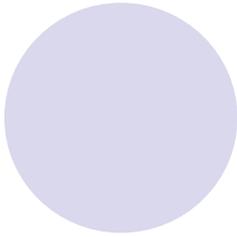
乾堆肥中的中溫放線菌及真菌數目約為 10^2 ，故其貢獻可以忽略；

中溫細菌之變化不如高溫細菌與放線菌多，雖然在 60°C 之高溫下，有相當數目的中溫細菌，但是其重要性可以忽略；

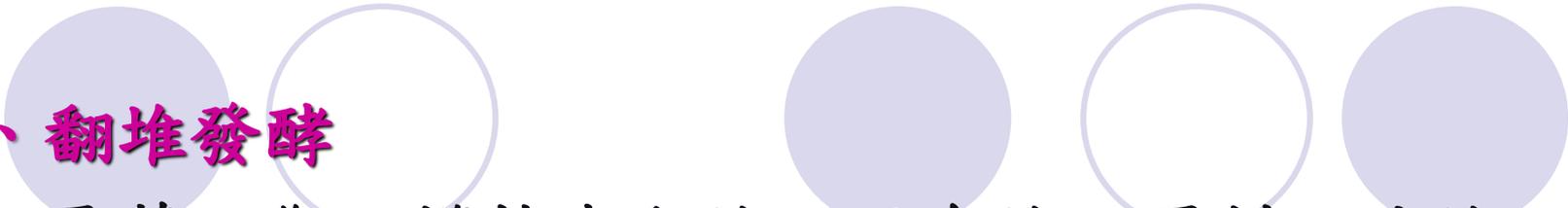
在高溫期 (thermophilic stage) 被認為僅高溫細菌與放線菌對二氧化碳的釋出有貢獻，即對揮發性物質之轉變有影響。

在堆肥化作用初期，原來存在堆肥中的中溫細菌為二氧化碳釋出的主要貢獻者，當溫度上升時，則二氧化碳的釋出由原來之中溫細菌轉為高溫微生物，先為**高溫細菌**，再轉為**高溫放線菌**；

高溫細菌之生長速率遠小於高溫放線菌，且當養分含量高時，競爭不過高溫放線菌，其現象則為可在堆肥外看到一**白色產物**，真菌則較不耐高溫。







五、翻堆發酵

堆肥需藉不斷之攪拌與翻堆、混合堆肥原料，使堆肥各部位充分混合，並提供充足之氧氣。

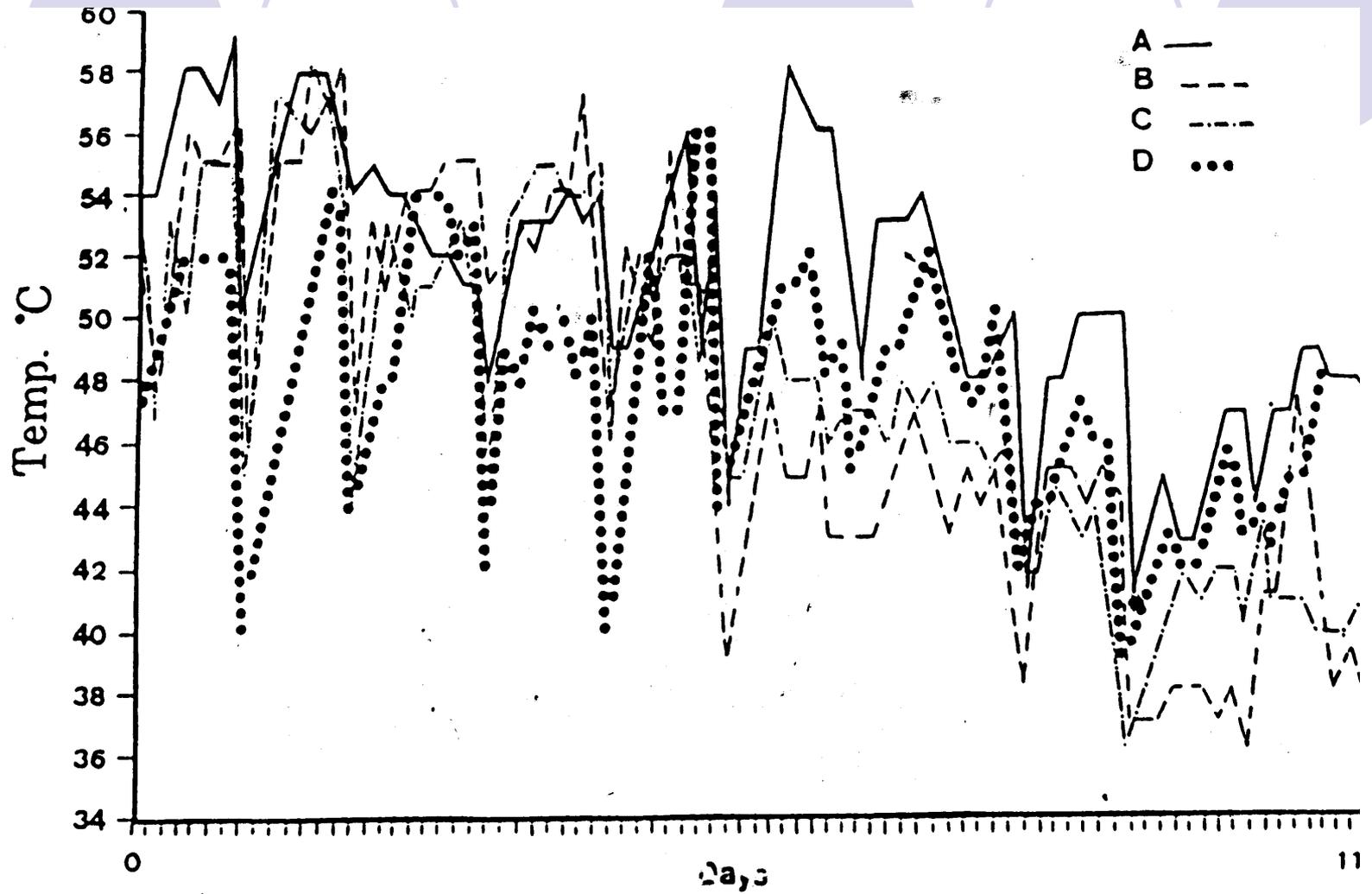
堆肥腐熟之判定

有許多不同之方法可以判定堆肥是否達於腐熟，但是至目前為止，並無一個**適用所有堆肥且簡易**之判定方法。

Rottegrad歸類腐熟度是基於在標準化條件下，堆肥中之微生物活性及溫度增加 (LAGA M10 1995)，也就是說當微生物活性及溫度不再改變或改變很小時，則認為堆肥即達到腐熟的水準。

有許多不同的參數（指標）評估堆肥腐熟度，包括物理的、化學的與生物的方法。

化學的方法常因堆肥原料之性質而使其利用受到限制。



圖二、堆肥製程中溫度之變化

Fig. 2. Temp. change during piling

2025/4/27

The top of the slide features five circles arranged horizontally. From left to right, the colors are: solid purple, hollow white, solid purple, hollow white, and solid purple.

外觀：所有之物質呈現深褐色 (dark brown)、**無法看到**原料、為細與中等粒徑及腐植質碎屑之細質地之構造、**水份含量30-40%**、其像富含腐植質之森林枯枝落葉層之味道、無氨或厭氧氣味。

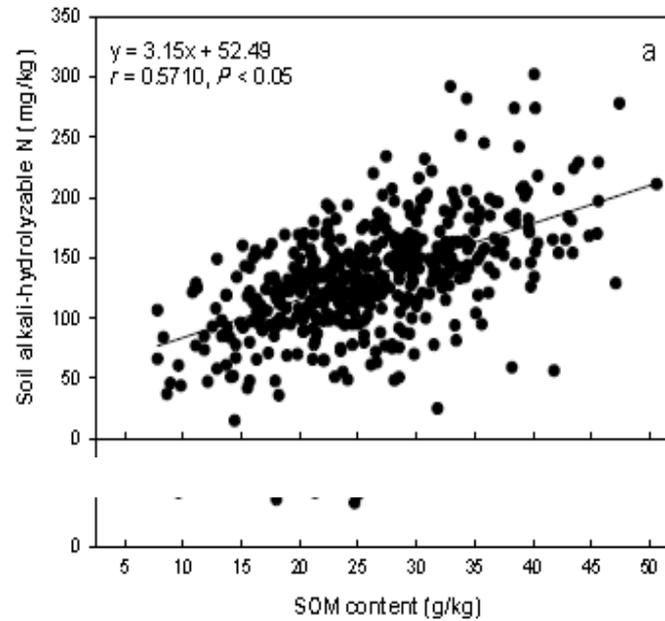
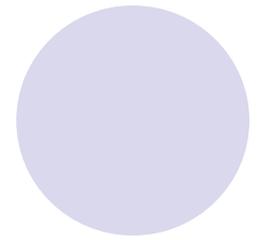
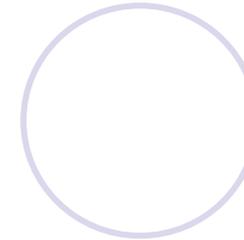
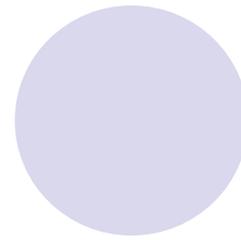
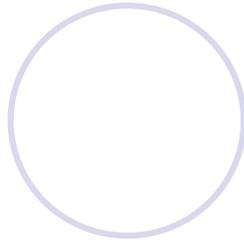
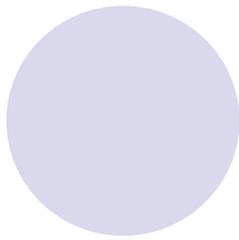




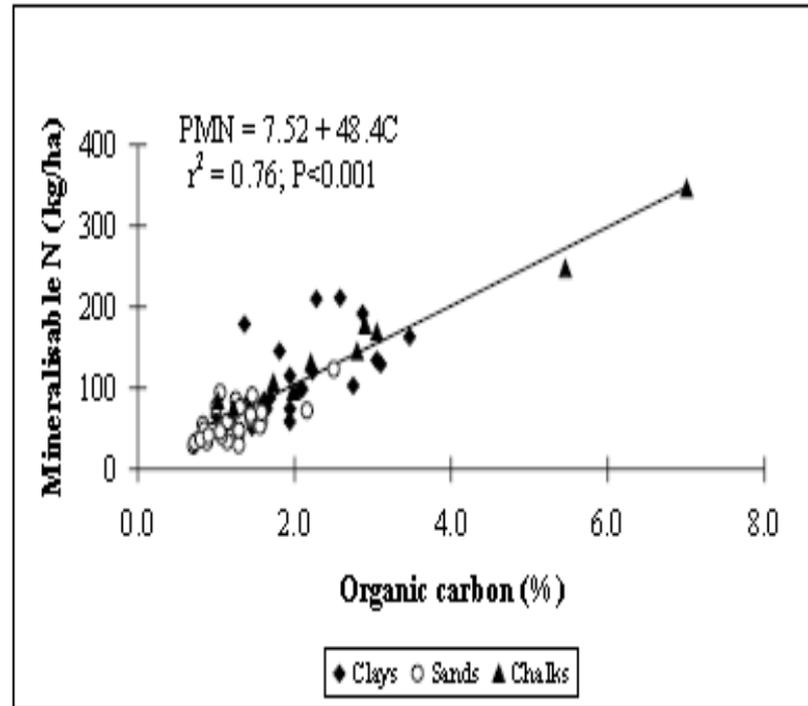


堆肥（有機質肥料）對土壤之植物之影響

- 一、提供養分：尤其是氮
- 二、改善土壤理化性質
- 三、改善土壤生物性質



土壤有機質與土壤鹼可水解氮之關係 (543 試驗點) (Zhao et al., 2016)



表土有機質含量與可礦化氮潛勢之關係 (Killeen, 2006)

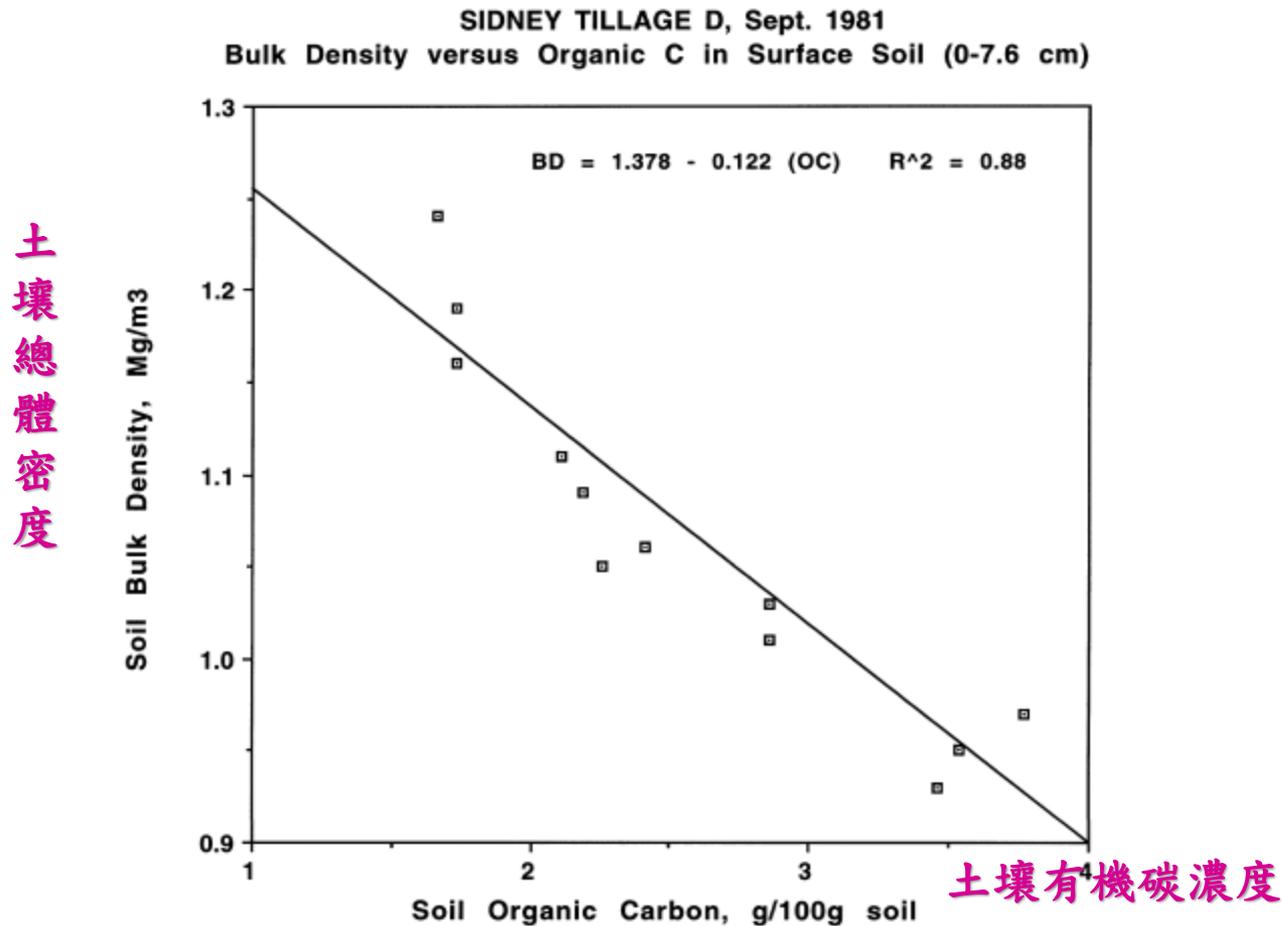
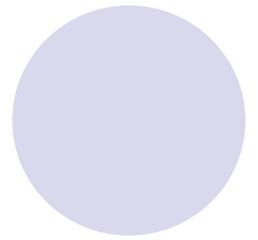
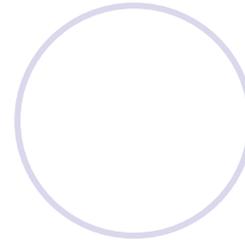
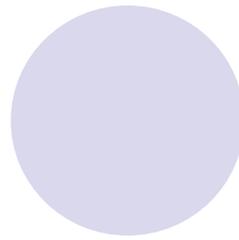
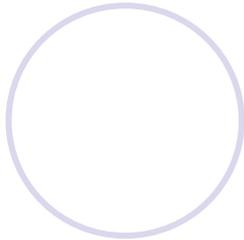
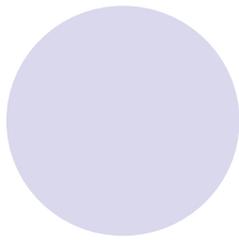
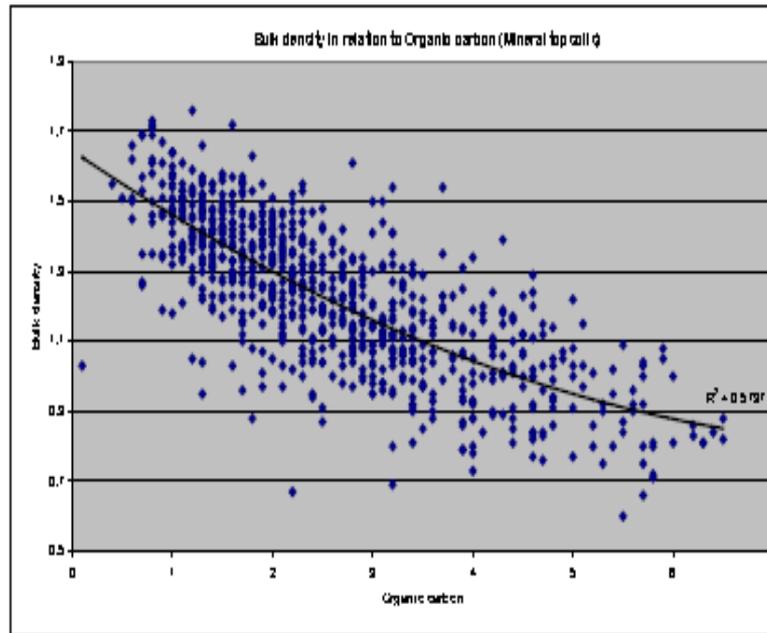


Fig. 1. Relationship between bulk density and organic C concentration for surface soils (0–7.6 cm) from the Sod (avg. bulk density=0.95 Mg m⁻³), No-till (avg. bulk density=1.03 Mg m⁻³), Sub-till (avg. bulk density=1.09 Mg m⁻³), and Plow (avg. bulk density=1.20 Mg m⁻³) treatments of the Native Sod site (Tillage D) in September, 1981.



土壤總體密度

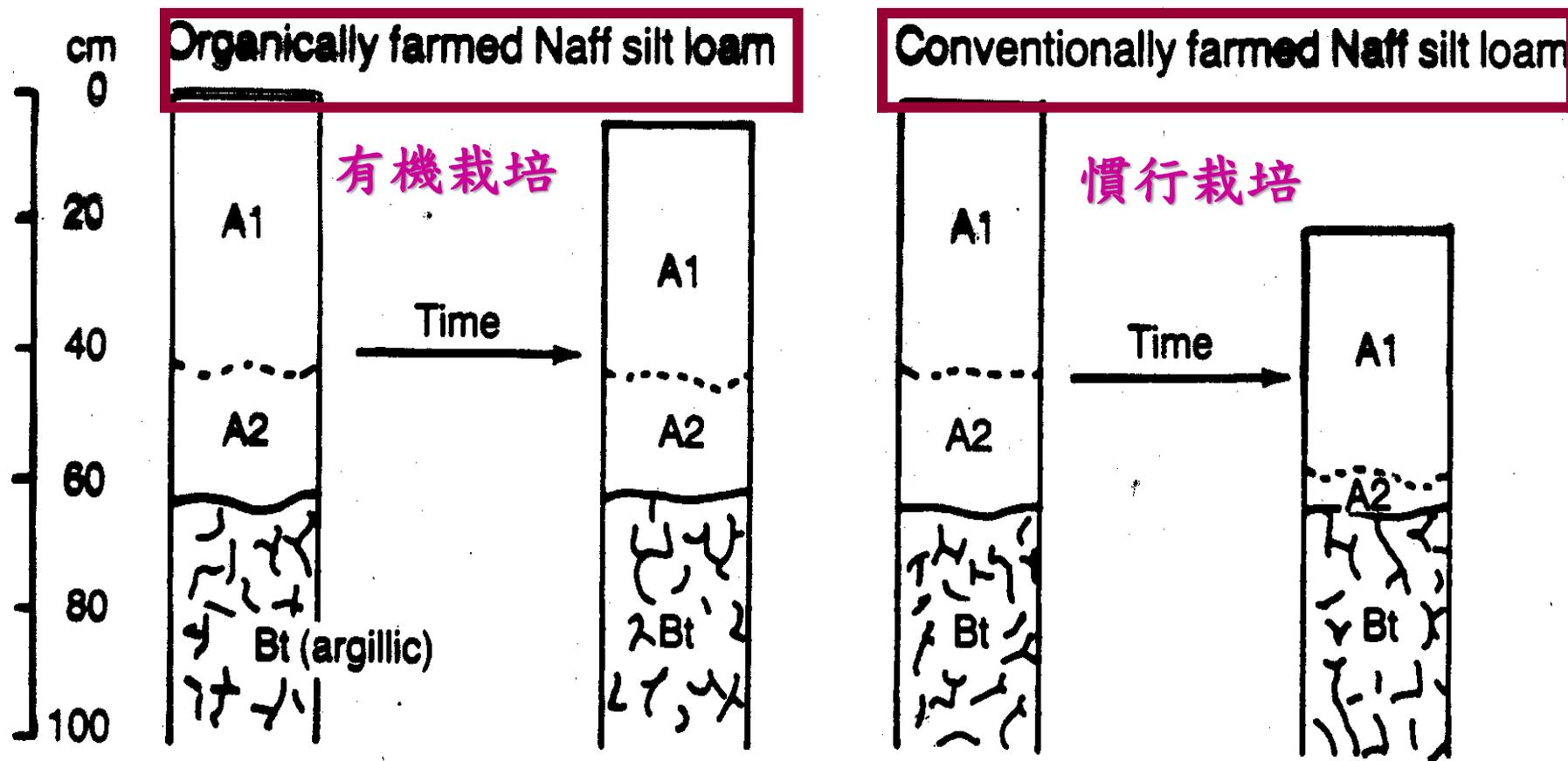


土壤有機質含量

英國礦質土壤有機質含量與土壤總體密度之關係 (Killeen, 2006)

減少土壤流失

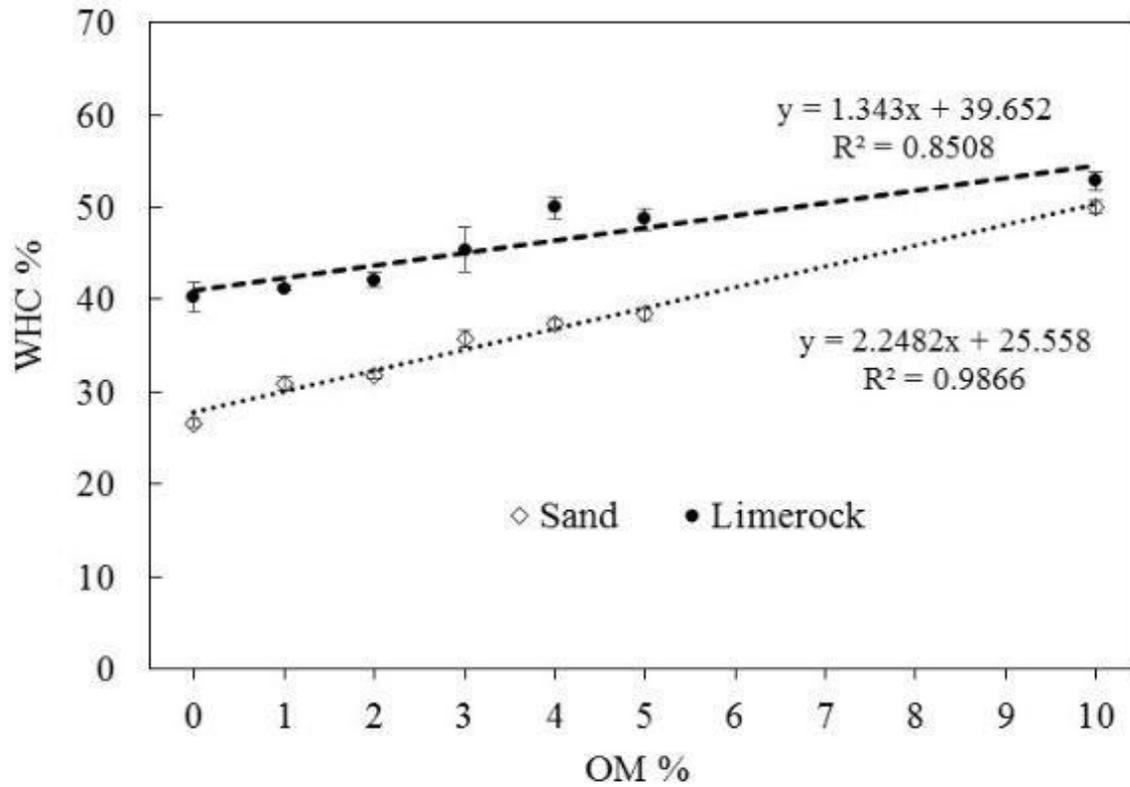
Figure 2.1 Organically and conventionally farmed soil losses due to water erosion between 1948 and 1985.



A1 is the cultivated topsoil layer.
A2 is topsoil below cultivated layer.
Bt is subsoil.

坩質壤土

保水性



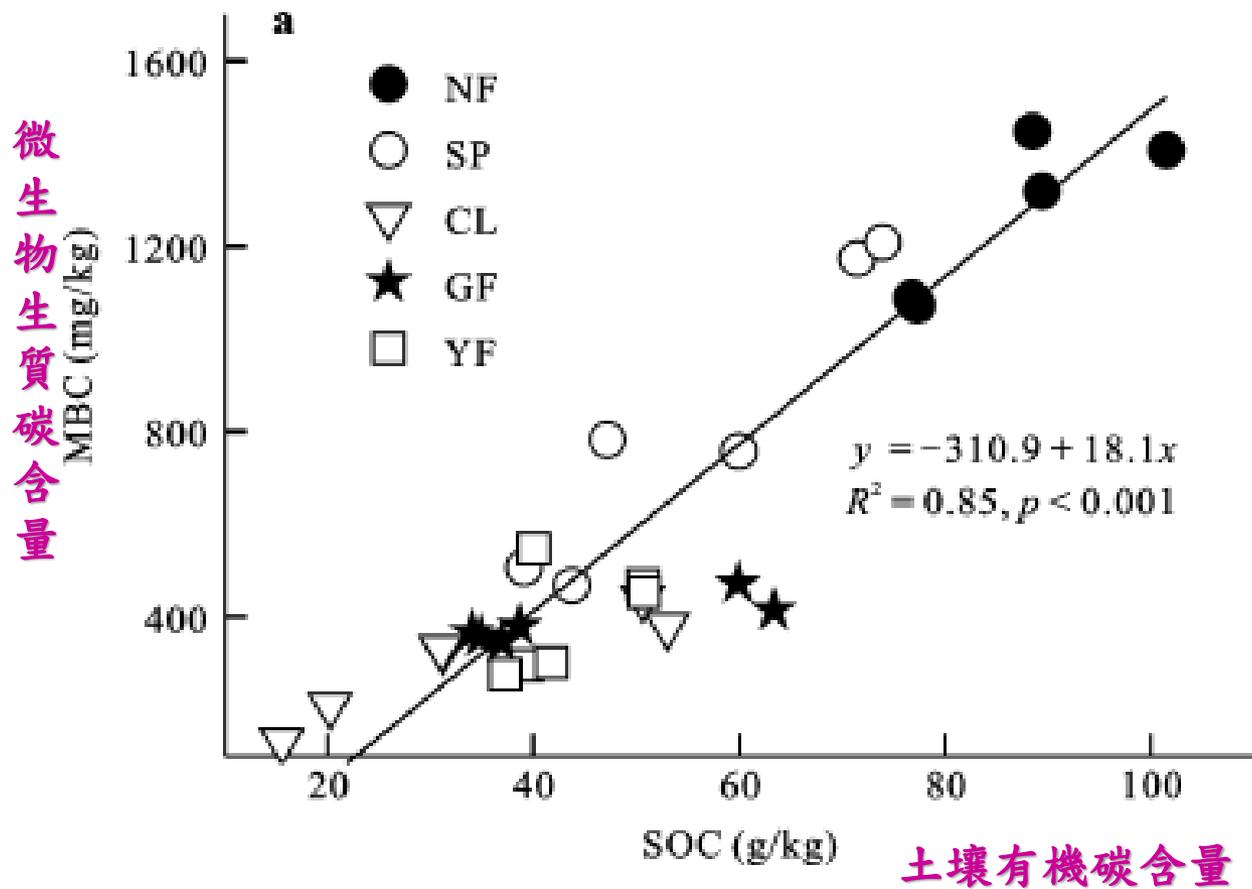
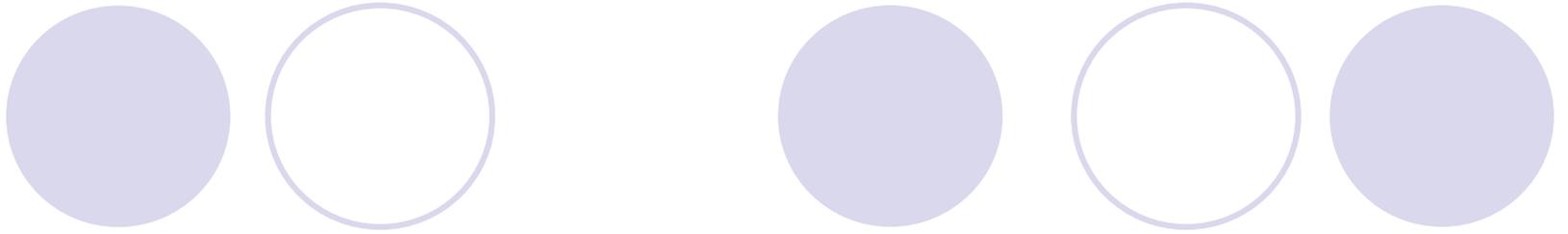
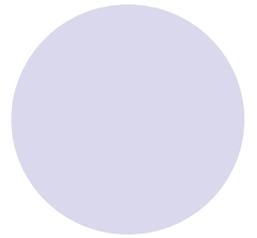
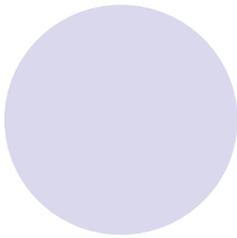


Figure 4. Changes in maximum water holding capacity of sand and limerock with percent increase in soil OM. **Fang et al., 2017**



落葉堆肥的應用與落葉堆肥箱技術







3

施肥

在櫻花四周挖洞
放入堆肥成品
回歸自然再利用





落葉堆肥的特性

葉片掉落前移出的養分比例

氮與鎂：40%

磷與鉀：80%

硫：50%

銅：60%

鈣、鋅、硼、錳、鉬、鐵、鎳：微量

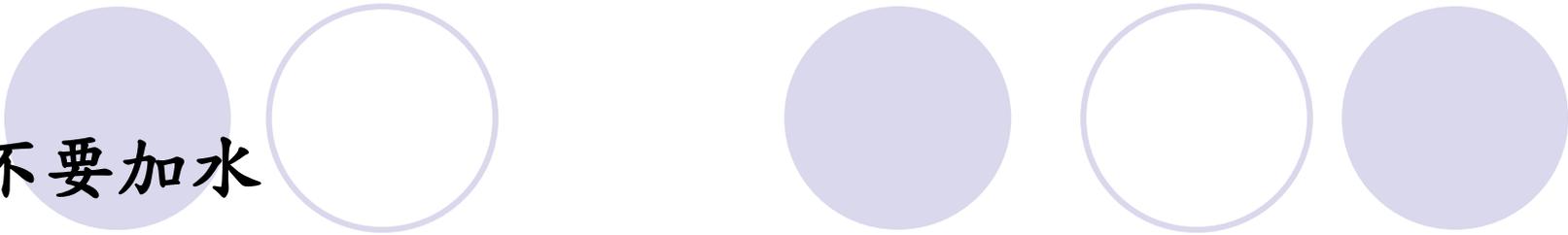
落葉之水分含量低



尤加利樹葉之碳氮組成

種類	碳，%	氮，%	碳氮比
綠葉	50.0-55.4	0.84-1.99	28-65
落葉	51.5-55.6	0.40-2.08	27-146

**剪草之碳氮組成：碳：44.5%；氮：1.88%；碳氮比：
24**



要不要加水

要不要添加調整材以降低碳氮比

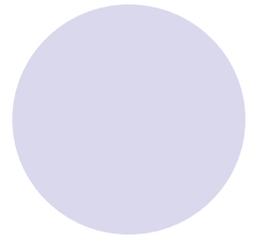
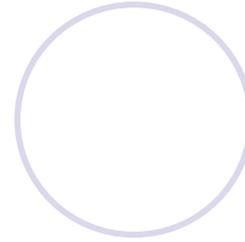
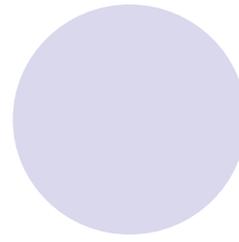
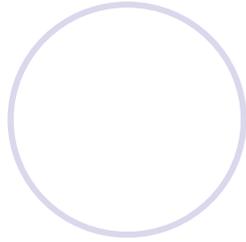
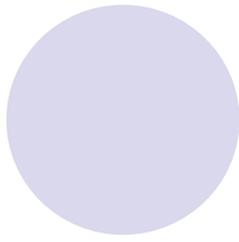
要不要添加微生物加速堆肥化作用

要不要翻堆或打氣（通氣）

要不要監測溫度與濕度

如何判斷落葉堆肥可以用了（腐熟了）

新作堆肥化作用時可以將舊堆肥混入新落葉材料中



堆肥之施用

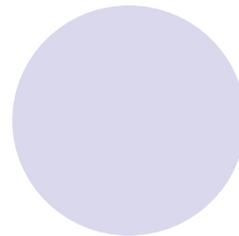
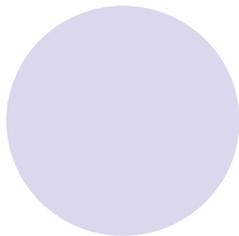


2025/4/27

颱風梅姬

李英明20161002

85



颱風梅姬

2025/4/27

李英明20161002

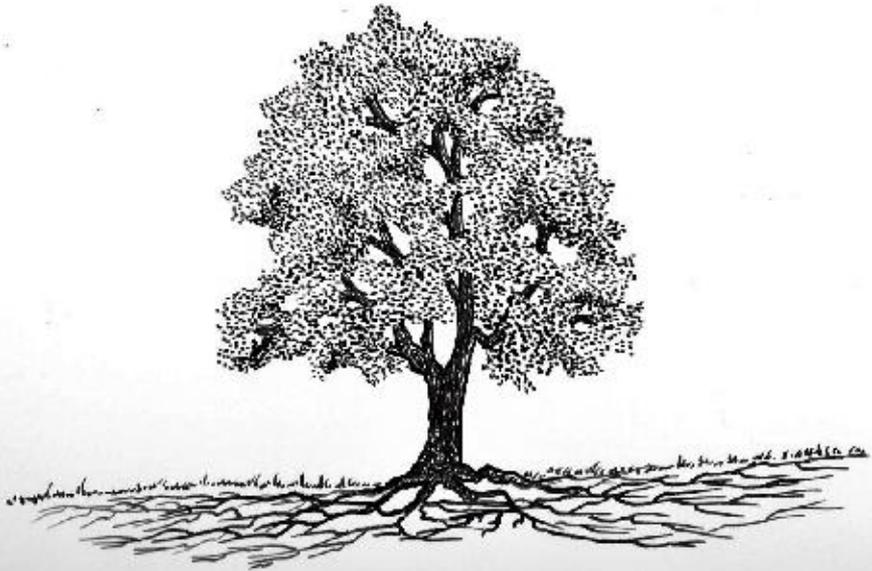
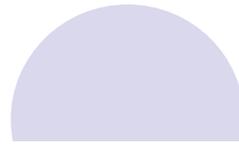


2025/4/27

颱風梅姬

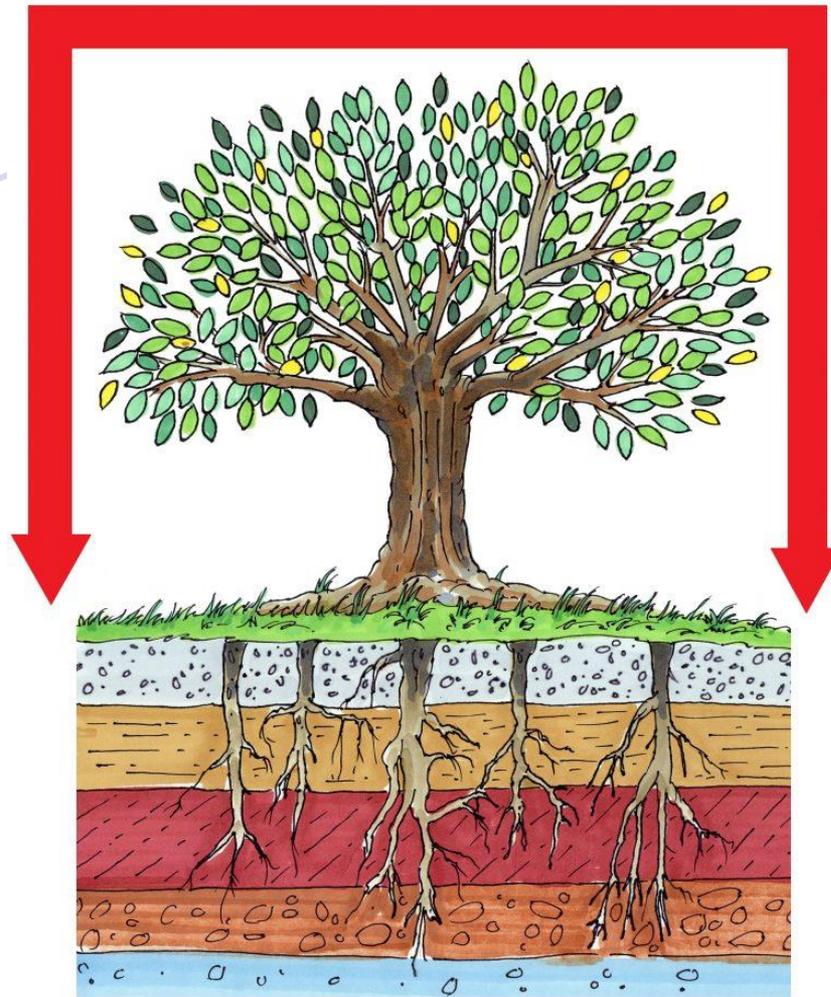
87

李英明20161002

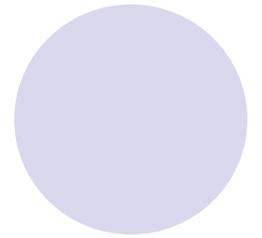
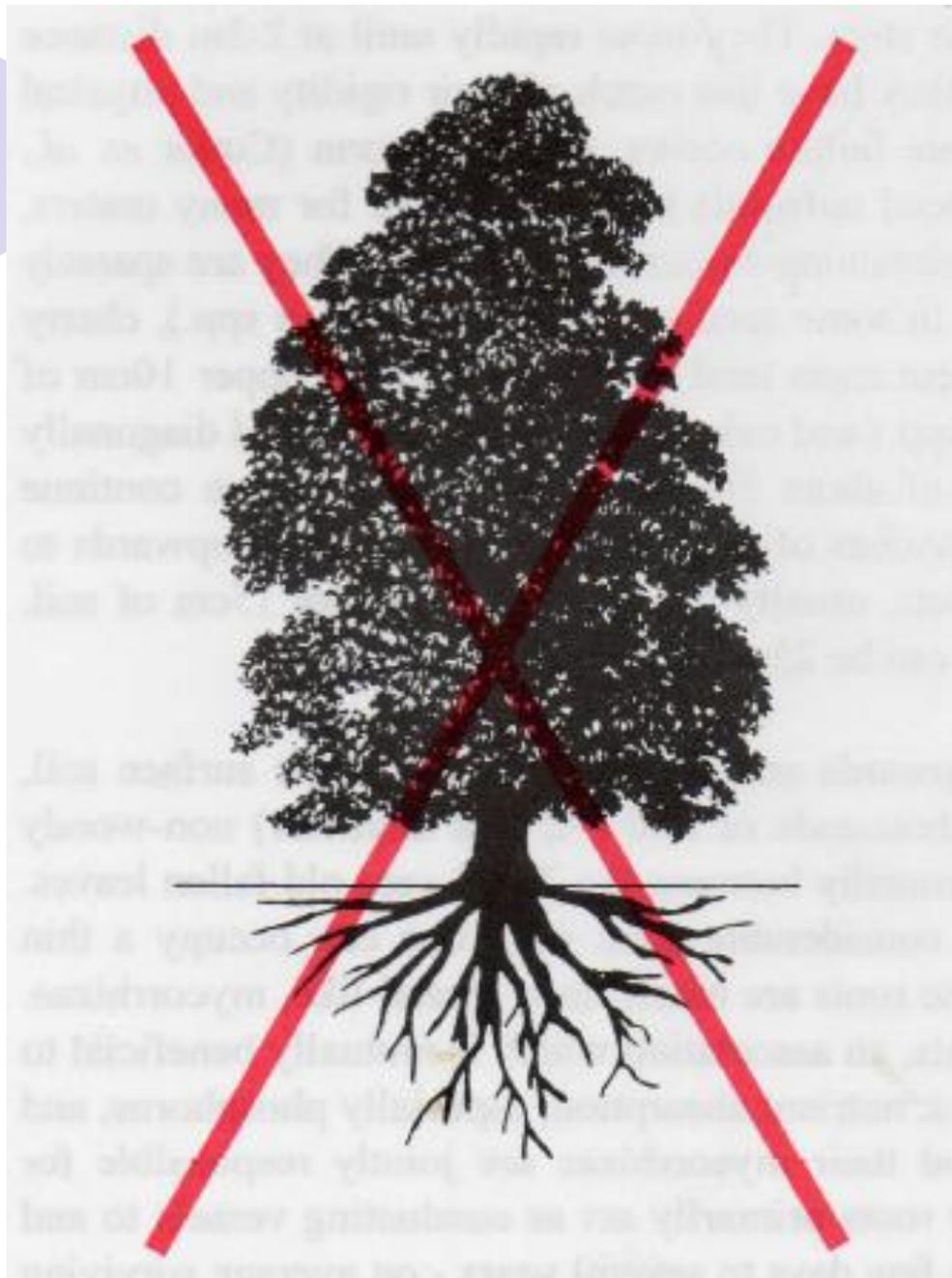


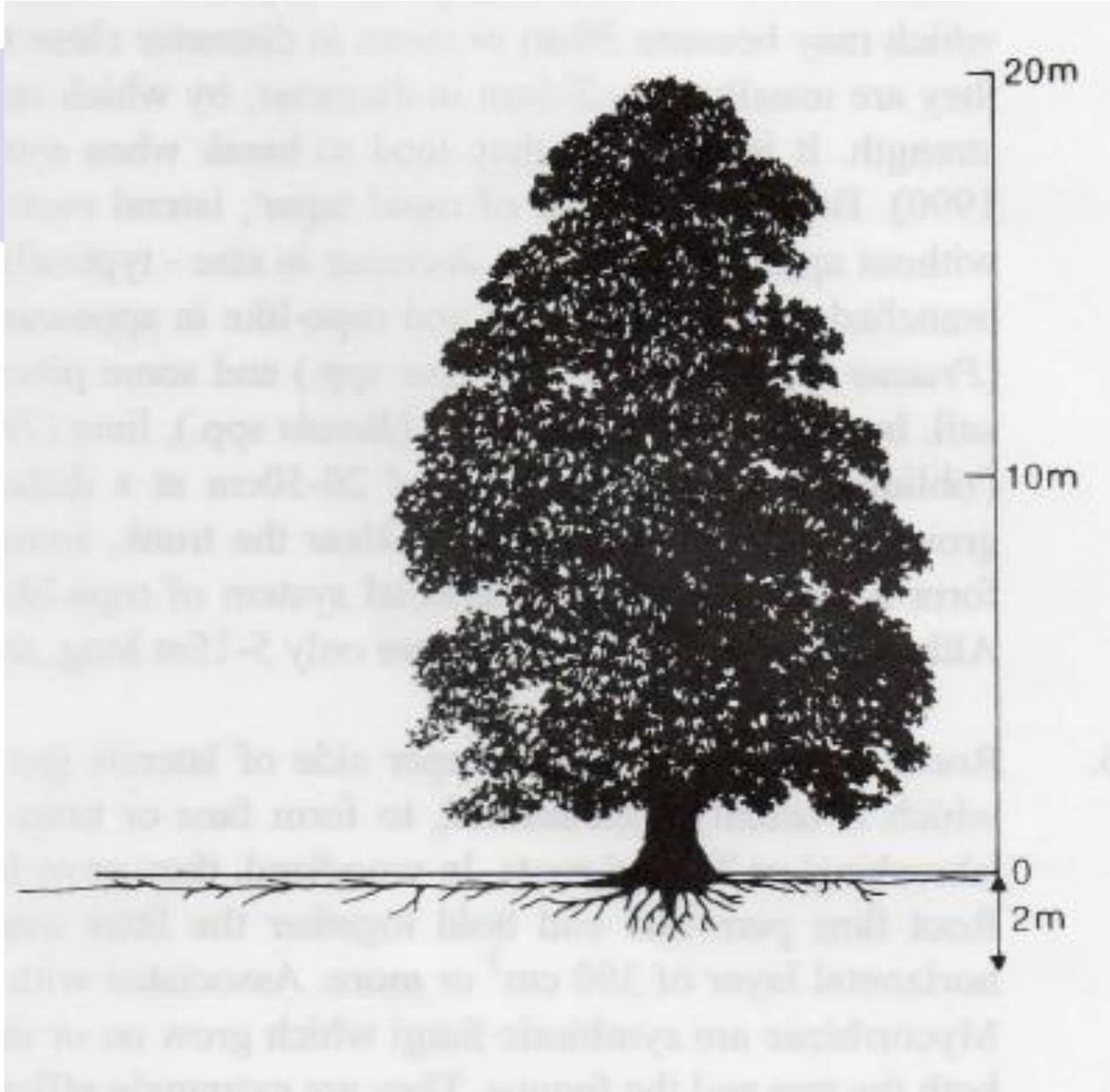
<https://nysufc.org/urban-forestry-fundamentals-part-3-roots-grow-like-plates⁸⁸not-mirrors-how-to-protect-them/2022/09/26/#post/0>

Critical Root Zone

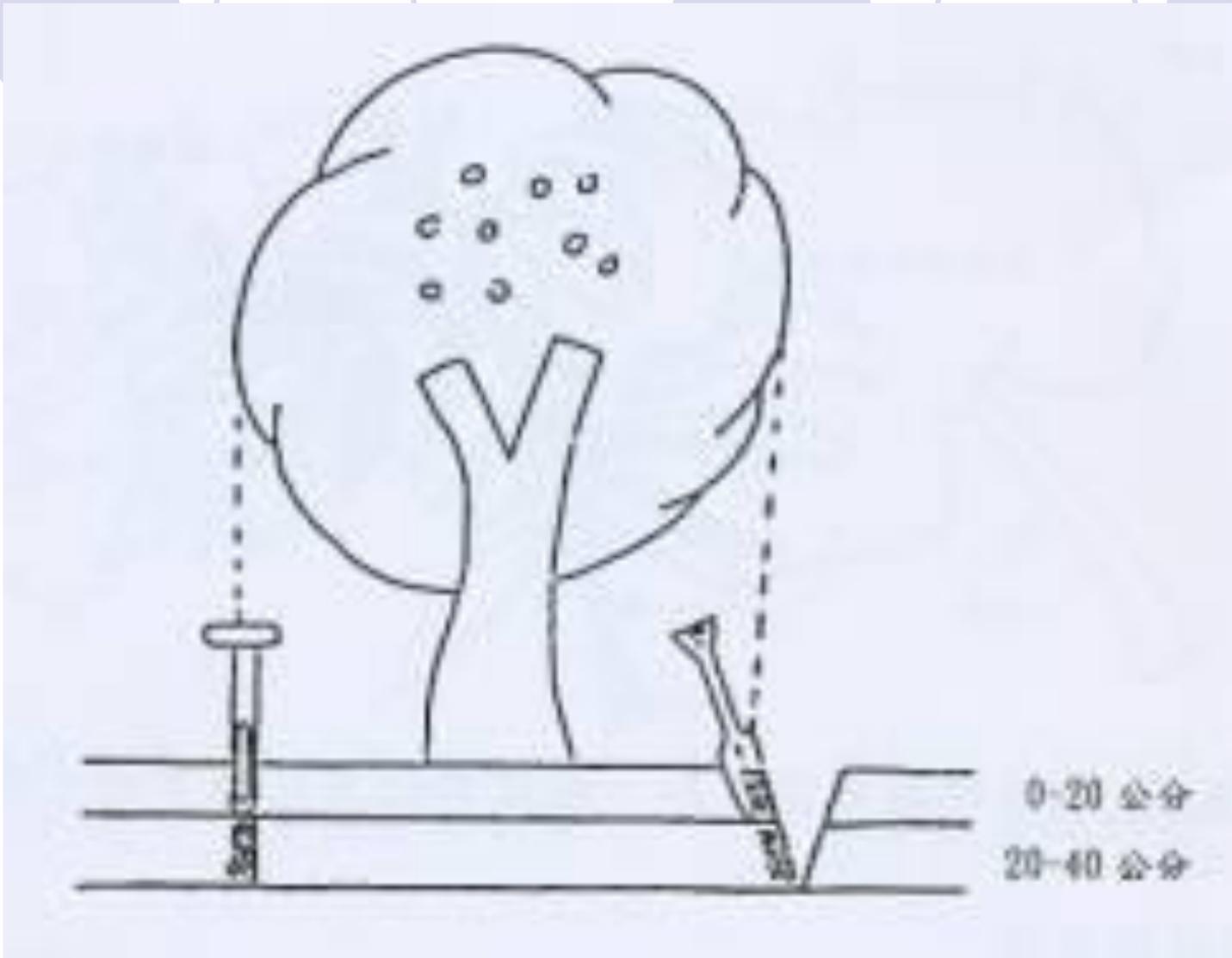


https://www.google.com/search?sca_esv=5cb2ea331903b148&rlz=1C1ONGR_zh-TWTW1067TW1067&sxsrf=AHTn8zpN0tEhxzzxWY9LERFTP rHvsmPxLg:174472259436&q=Tree+root+size+chart&sa=X&ved=2ahUKewiOmoX0jNqMAxXaZ_UHHXDxNwM4FBDVAnoECCsQAQ&biw=1745&bih=835&dpr=1.1#vhid=ljC1u3yi horYoM&vssid=_IFn-Z6ytA_Hc1e8PmbK_4Ag_36



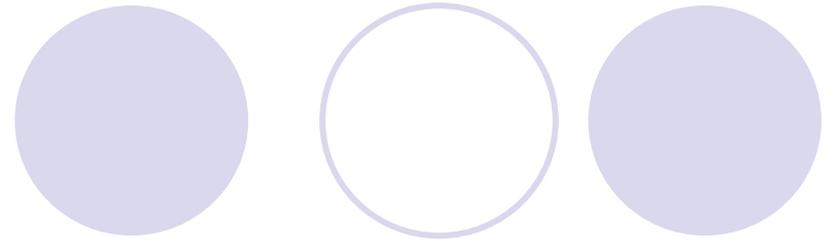
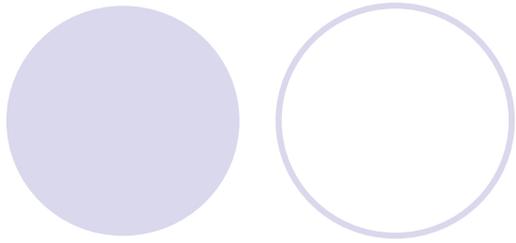


Dobson, 1995









謝謝您的聆聽