

國 立

北 京 大 學 農 學 院

森 林 立 地

民 國 二 十 七 年

# 志剛校友備用

孫恆贈

1946.6.

國立北京大學農學院森林立地學講義 1

## 森林立地學

白堊編譯

### 卷一 立地因子 ( The Site Factors )

#### 第一章 緒論

##### 1. 造林基礎 ( The Foundation of Silviculture )

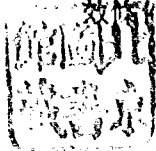
森林學由直接觀察及實驗立地因子植生等而成立。歸納此等觀測結果，即為造林實行上之科學的基礎。

##### 2. 森林為由立地條件形成複雜構造

立地條件，即森林植生所受於地方之特殊影響：——即立地因子——如氣候，土壤，及生於其地方之動物是也。彼等對於森林生存之影響，稱為造林基礎 ( Foundation of silviculture ) 或稱為生物樹木學 ( Biological Dendrology )。由斯學闡明森林並非單簡的樹木羣生於土地之上，乃由植生單位，形成極複雜之構造也。而各植生又為依其立地種種影響集合所成整個單位，故彼此互異。

##### 3. 立地 ( Site )

造林學所稱立地，與生態學所稱環境區 ( Habitat ) 相當。就造林學解釋之，則為植物或植物社會生存上有效條件之總稱；進而言之，則專指支配生存於某地方植



805764

## 2 國立北京大學農學院森林立地學講義

物之各種地方條件也。

一地方之立地，依其各因子相互關係，所生之結果，成極複雜現象；是必其全區域之環境條件，應極端一律，然實際未必如此嚴格，而指廣義的解釋。

4. 立地性質 ( Site Quality )。每單位地積所產植生之種類及數量，隨立地因子為轉移。倘因子發生變動，則產量亦變化。正如植生性質發生變化也。例如某種植生，生存上可用之水分，若減少其供給量至其最適量以下，則產量亦必減少。其環境亦改變為適於另一植生型 ( Vegetation type ) 之立地性質矣。一般森林家，以立地性質，由林內某種林木或某數種林木之生產力指示之。

若成林歷史為已知，據其收額表，劃分各種收額之立地級。然因種種理由，真正之收穫力 (Yield Capacity) 不能僅以收額代表之 (如不法正蓄積，病蟲害及其他自身或外圍之妨害等)。故前述之生產力，能不加以修正，則非正確之立地指標。

且經過相當期間之充分生長量，雖為立地之極好指標，然天賦之厚，有時並未利用已盡。

依照僅適於數種中某一種或某數種混交之立地性質

，區分立地等級，足以構成現實林分，或將來現實林分。故對於白松 (White pine) 之生長為二等立地之地方，對於加克松 (Jack pine=Pinus baltica, Lamb.) 則為一等立地。可見由性質分級，若不注意樹種關係，則無價值之可言。

#### 5. 立地因子或環境區因子

##### Factor of Site (Habitat Factors)

以前立地學研究未精，故無絕對的義意與界說。夫一地方之地形界線雖甚明瞭，其或某因子自然存在，為吾人所不及詳考者，往往而有。鄰接之立地或清或混。亦時被人類誤認，故欲劃清各種立地之極確界線，殆為不易。各種立地所含重要因子，皆普遍的存於自然界。而立地高下等級之標準，即為各因子相互關係之強度，與其功效之連續性。然各因子間相互之關係。在甲立地者未必與乙立地相同。

立地之特質 (Character)，既由支配植生環境各條件之集合影響而決定；故凡直接間接支配立地性質之各條件，皆可稱為立地因子。然按相當於各因子之正確用途而分類，實際上又不可能。故以下述之分類，為分析各立地因子之基礎：(1) 直接作用之因子。即：日照，濕

#### 4 國立北京大學農學院森林立地學講義

氣，土壤之濕度等。直接支配植物作用(Plant Functions)，發生可考之效果者。例如空中關係濕氣減少，則蒸發量增大。(2)間接作用之因子。即土地之傾斜，土壤中動植物之存在等。彼等僅對於土壤直接因子，發生影響，故間接的支配森林植生。又某數種因子，同量的分配於林地全面積，如濕氣及氣溫是也。其他因子，非同量的分配，而只限於某部分者。如土壤之組織，土壤之濕氣是也。要而論之，此等因子，不僅為現存植生之生態特質，亦為植生連續變化之本源。茲將以上各因子，歸納為下列之三類：

1. 氣候因子 (Climatic Factors) ；
2. 地質因子 (Physiographic Factors) ；
3. 生物因子 (Biotic Factors)

6. 氣候因子(Climatic Factors) 。凡足以影響植物生命之一切大氣的條件，稱為氣候因子，或稱天氣因子，氣象因子。此因子之全部，留深刻印象於大面積植生。其影響或及於區域 ( Region ) ，或僅及於地方 ( Locality ) 。限制氣候區域之條件，稱為區域的氣候因子 ；限制更狹氣候區之條件，稱為地方的氣候因子。由水陸錯綜，地形變化，形成氣候區域。其間之氣候因子，

實爲有力之支配者。故各地之氣候，未必一致者，必其氣候因子之組構，互有差異也。

氣候之變遷，分爲調節 ( Rhythmic ) 及演進 ( Progressive)前者即晝夜四時變化所生之循環，故稱爲時序 ( Weather Cycles ) 變遷；後者爲某期間特發生之極端氣溫，極端乾燥所致之演進結果，如地質時代最後冰河期以來，氣候變遷是也。總之，演進變遷極緩慢；故某地方之特殊氣候支配植生之影響，可稱爲安定 (Stable) 。

決定區域或地方氣候之大氣現象，大致爲溫度，濕氣，及光線。換言之即空氣溫度，日照量，空中濕度及降水量；其次爲常風，電閃；及大氣中所含夾雜物，對於造林亦略有關係。

7. 地質因子 ( Physiographic Factors )。地質因子爲地貌 ( Form ) 及地面構造狀況，亦有調節及演進變遷。其直接作用於植生者，爲土壤之成分 ( Soil composition )，土壤之濕度，土壤之溫度，及土壤中之氣體。故土壤之作用，皆稱爲土地的因素 ( Edaphic Factors )。此因子對於各種森林植生，表現於外者，爲土壤乾濕之差，沙土粘土之差，地溫高下，土壤之酸性與中性。其間接作用於森林植生者，爲更支配以上各直接因子之各

種現象，皆關於地形之性質者：即地形，海拔高，傾斜度，及方位是也。其表現於外者，如險峻與平坦，北側裸地，與南側向陽地，海岸地與大陸是也。

地質之調節變遷，現於季節者：如水位之高低，海潮之升落，對於造林關係甚輕。然其演進變遷，則對於造林影響博大深刻；由浸蝕 (Erosion)，堆積 (Deposition)，隆起 (Emergence) 沉落 (Subsidence) 等作用，變動地形及土壤狀況。隆起與沉落變化甚慢，只在地質時代者，可以考察；浸蝕與堆積，在短期內即能完成。至於極速的演進變遷，為谷 (Gully) 之冲刷 (Washing out of G.) 充積平原 (Flood plain) 之造成，沼澤池塘 (Swamp, pond) 之成立。凡此種種，經過期間皆極短，故其作用於森林植生甚顯著。然一般演進變遷之進行，若為人類所不及察，則地形亦可認為安定。

地被物之形質與土壤之深度，間接支配植生，故此二者按地形之因子分級。

8. 生物因子 (Biotic Factors)。生物因子直接間歸因於動植物之作用。夫氣候及地質因子，固為森林形狀及生長量之無上支配者。然當森林植生發展時，常受動植物或人類影響所干涉，妨害，遲延，或竟使之變遷

中斷。於森林樹木之發育上，極為重要。故人類遇直接有利於樹木，或有利於土壤之自然作用，皆當助成之。遇有害於森林或有害於土壤生理因子之作用，皆當防止之。最重要之生物因子為競爭（*Competition*）培養，共生（*Mutualism*）動植物社會及生於其土地之植物或動物。

競爭。此因子為起因於（1）在鬱閉林內爭求光線，（2）不充分土壤內爭求水分之供給，以促進各個植物體本身之營養。培養為人類就立地性質，施以側重某趨向之力量；其異於他生物因子者，乃係有理解之處理也。火災雖非盡由人力所致，——如由電閃或岩石摩擦誘起者——但為人類能力所能防止，故寧歸入生物因子。

共生。此因子就生態學解釋，為各植物間相互之類緣關係。Warming 氏側重一切寄生現象，上至須互相依賴，始能生存之植物社會。此因子於森林，極關重要。尤以侵入（*Invasion*）為最甚，如粟之害蟲（*Endothia parasitica*）為害最烈。

社會（*Communism*）○此因子即一生物集團內，動物與植物間之相互關係。凡彼此有利之寄生或彼此相



## 8 國立北京大學農學院森林立地學講義

需之生存，皆樹之。動物侵入——尤其是害蟲——於森林極關重要；如樅蚜蟲（學名 *Tortrix fumifera* 英名 Spruce Bud Worm）侵入歐洲唐檜（學名 *Ticea excelsa*, Link. 英名 Spruce）及加拿大樅（學名 *Abies balsamea*, Mill. 英名 Balsam）之樹體內。又鳥類啣齒類啄食種子，妨碍森林繁殖。土壤內之桿菌（Bacteria），擔子菌（Fungi），原生菌（Protoza）蟎蚧及其他有機體等之複雜生活現象，雖未明瞭，然土壤中一切動植物，概為決定森林植生所必要。近年因發現生物影響土壤之理學性質，——如生物作用引起有機質腐敗，使土壤之有機質或無機質，變成易被根部吸收狀態，以調和樹體所需之營養，——故生物之社會，漸為人類所注意。

9. 按影響植生狀況為基礎之立地因子分類法。若按環境狀況，將上述一切立地因子分類，則於決定植生形質及發育，更為肯切，固不必一一推求其本原也。環境的狀況分為：

1. 濕氣狀況 (Moisture Condition) ;
2. 氣溫狀況 (Temperature condition) ;
3. 光線狀況 (Light condition) ;
4. 化學狀況 (Chemical condition) ;

5. 理學狀況 (Mechanical condition) ;

10. 立地因子及於植生影響之等級測量

某數種因子，永續的作用於立地：如氣溫，土壤之濕度，大氣之濕潤是也。其他因子，間斷作用於立地；如常風是也。此等因子，在某立地，隨時存在；故立地不因各因子存在與否而異，只隨其因子有效程度而異耳。因此，氣溫雖為各立地之共通因子，然決無兩立地氣溫等級及其全年分配情形極端一致者也。

11. 立地因子如何作用於森林植生

立地之各種直接因子，作用於植生，猶如外部所來之刺戟。故熱度達植物之生長溫度時，則植物體因刺戟而增長；又如大氣之濕度減低時，則與之接觸之植物受刺戟而蒸發量增加；光線減少，則葉部擴大。

因立地因子之種種影響，森林植生始保持調節常態；原生林之立地因子，調節較為完整；人工林則不然，由播種或植樹更新，經過間伐或其他人工處理，遂減少其調節之完整矣。若採非其立地固有之樹種造林，則發育狀況及生長量，視其與立地因子關係遠近為轉移。故立地因子，最近該樹種之最適度時，始可選供造林之用；反之，立地因子傾向某方之變化愈大，則某樹種距其

## 10 國立北京大學農學院森林立地學講義

自然連續之關係亦愈寡。移椏按樹於黃河以北則死亡，又移椏北方種之柳楊於南方則遭蟲害。

造成複雜環境之各因子，足以促進植物萌發生長發展者，前文已述其概要。然此複雜環境，對於植生各元素的作用，必各有其最適度（Optimum）。故專為某植物，亦必有其生態的最適環境。在此環境以內，植物之各作用（Functions）始能互相調和配置。然僅由各因子中之最適度，仍不能完全解決各拮種或各植物與其環境間之關係。更由後文之限制因子（Limiting Factors）說明之。

### 12. 立地各種因子之互相補充

某森林羣落，一種或數種立地因子缺乏時，由其他因子之餘量補充之，發育成長，仍不失其優良；即如優良氣候，足以補償惡劣土壤之缺點，仍不妨植物發育；大氣之濕氣充足，可以補償降雨不敷之缺點，沿河乾燥區域，因土壤富於可用的濕氣，補充空中缺少濕氣，故中性植物羣落，仍可在寒冷地域之向陽開放部分發育，是因其足以補償溫度之缺點也。

一般植物或植物羣落，生於兩種調節系統之下，其一為環境（Environment）其他為植物體本身之生長（growth）

form)型。前者即各種支配力之集合體，後者隨植物種類單體，各表現複雜之細胞組織及器官。支配植物羣落之環境，雖由下文限制因子說明，然某種因子，得由植物或其羣落之反對的性質抵消，或由其他高級的有利環境所補充。

補充因子定律 ( Law of Compensating Factors )。乃係各因子集合作用，現於植物之反應，易被其中某因子或某數種因子所限制；又在某程度以內，此限制的影響，往往更被其他因子所限制。

立地各因子，多少互相關連。故植生之某種狀況，是否為某因子或其他因子所致不易考察。又因各因子彼此可以補充，故某種因子影響之強度如何，尤不易知。人類只知一植生，由許多立地因子集合力所成；若選出某因子作用至某程度，而其植生亦隨之顯出相當之效力，為絕不可能。

13. 限制因子 ( Limiting Factors )。各立地因子在某限界以內，雖互相補充，而植生又為各種因子集合動作之結果，然其中必有特殊之簡單因子，限制該植生中某植物社會。若任何因子不敷該社會需要時，即係其限制因子。故在某氣候區域內，其氣候因子永遠支配植

物社會，固不俟論；倘與鄰近他氣候區域之極盛相植生（*Climax vegetation*）相較，則兩者之氣候因子決不相似，必有重要之限制因子，以致不同。限制因子，多屬於地質的。

然則限制因子，究為何物乎？質言之，『某作用進行時——例如光合作用（*Assimilation*）——其速度固受各因子之支配，然限制其速度者必為進行最慢之一因子』如松屬（*Pinus*）光合作用，當光線增至某強度而開始；光線加強，光合作用亦隨之充進；然超過某限度時，雖光線更強，此作用不復再隨之充進；揆厥原因，除光線以外，尚有其他各因子，——如溫度可用的二養化炭，濕氣——足以限制作用之進行。故光度雖強，亦無濟於事。惟此限制因子加強時，則增加光度，猶可促進光合之速率，由是，影響光合各因子中之最小利益者（*Least Favovrable*），乃為該作用速度之支配者。*Liebeg*氏之最小規律（*Liebeg's Law of Minimum*），經*Mit-herlich*氏訂正，謂『僅由最小量因子完成之產額，其增進數量，比例於由最小產額至既得產額之間』，北方森林木材產量之限制因子，為土壤之溫度；倘欲增進其限制因子，得由開伐森林，使土壤曝於充分陽光之下，以

提高地溫。然一般最限制生產力，而殘存於鬱閉下之因子，為供用由之土壤濕氣，亦可開放森林一部，及減去優勢木與被壓木對於土壤濕氣之爭求而增進之。總之，立地之生產力，為其最不利之因子所限制。欲增進收額，首當充進此因子也。

多數立地因子，各有其極小值與極大值。就溫度論，若繼續減低至某點，則植生或植必至枯死。若繼續增加至某點亦然。植物之生命，僅在此兩限界之間，始能維持。歸納各種因子之極大值與極小值，稱為地質限制之定律（Law of Physiological Limits）。準此定律，存於任何組織之生命，僅能在環境狀況，不超過該組織生命過程天賦之地質限界以內生存。

限制因子，在森林生態學（Forest Ecology）上，雖有確定之位置，然決無由單一因子，即能形成限制因子者；緣各立地之植生，概為各因子複合之結果也。就限制因子，說明植生消滅原因，必另有其他因子，足以直接間接妨碍此限制因子，使其不能充進至某程度。Romell氏指出以上所述最小規律及限制定律猶有缺點，彼以為猶如靜力的定律，決不能適用於動力的過程。

第二章 氣候的因子  
( The Climatic Factors )

某地方氣象作用綜合之狀況，以表示其地方之性質者，稱為氣候。而氣候之要素——溫度，氣壓，濕氣等，——永不固定；日與日異，時與時殊，變化甚速，且不規則。

1. 氣溫  
( Air temperature )

氣溫對於樹形及樹體構造，雖亦明顯影響；然係氣候之基礎要素，僅由解剖學的構造及樹形，不能決定樹木之需熱量。熱作用之大小，多在生活之最後結果表示；如生理過程之加速減速，或完全停止是也。移生於熱帶沙漠之植物至寒冷地方，使其漸漸習慣寒地之環境，除外貌增加健壯外，其內部構造仍與在沙漠時相同。故不能指定某樹種，截然屬於暖地或寒地。

Kjellmann 氏謂生於挪威之歐洲唐榆，因寒冷之故，其球鱗有變為寬大縮短之趨勢。Warming 氏謂杜松 ( *Júniperus communis*, L. 英名 Common juniper ) 在寒冷地方，其葉身壓平。同氏發見生於 Québec (Canada) 之鐵杉 ( *Tsūga canadensis*, Carr, 英名 White Spruce )，較生於該地以南之同種，其葉身向軸攢聚 ( Closely pressed against

the Axis) 。其他學者，謂同一地域最寒冷地方所生之單體，木質色澤濃厚，且葉面變為棕綠。向來以溫度及樹種之材質構造，為形成色澤之重要原素；由今視之，此種理由，雖不無少許之關係，然決不足供某樹種需熱量之參考矣。

近年雖有決定生命過程中，溫度過程之試驗；但關於熱帶極帶及高山區域等特殊地方者，則報告甚多。總之，某種，變種或族，對於極端溫度之抵抗力，乃係該植物體內固有原形質，沙糖，油脂混合物之特殊作用。多數種屬體內澱粉，每近於冬季，變為脂肪，以增加耐寒力。至富於脂肪之樹種——如松類樺木類——皆為生於最冷地方之表現。

樹體組織內水分之多寡，為決定抵抗極端溫度最重要之逆標準；含水愈多，抵抗力愈小；故同一樹體，其多水之幼枝，易罹晚霜之害；木質比較老之枝則不然。移暖地樹種於寒地，斯時受熱量不敷其木質成熟之需，最後因組織內原來水分過多，遂冒早寒而枯死。倘此新植地之夏季延長，且暑熱異常，則其溫度仍敷木材成熟之需。縱逢甚晚之冬季，其體格已足抵抗低溫，可免枯死。幼組織所受凍結之害，不在凍結中途，反在融解之



時；融解愈速，受害亦愈深。低溫地帶之樹體，——如樺木柳類——為受多量之熱起見，其莖部常匍匐發育。

### 2. 樹體之熱源

(Sources of tree's heat)

樹體內各作用相關進行，其源動力多由外界供給。一方樹體吸收日光，發生能力 (Energy)；同時轉將此能力，消耗於蒸發或還原於空氣。吸收量中，用於光合作用者，僅占百分之一二 (光合作用Photosynthesis)。樹體之平均溫度，約與外圍之氣溫相等；如樹溫低於外溫，則吸入空氣之熱；否則散熱於空氣；故樹溫與外溫常保持平衡。在生活過程，樹體自生之內熱甚少，大抵皆經空氣吸收陽光之熱。因大氣之溫度，變化萬端，而植物導熱之進行，又極緩慢；故樹溫不能與氣溫嚴格一致。因此樹木內部組織，日間較空氣寒冷，夜間則較空氣為熱。至於枝葉因係外面為薄組織，曝露日光之下，日間溫度高於氣溫，夜間低於氣溫，適得其反。

### 3. 樹木吸熱之進行

(The Absorption of heat by trees)

輻射熱達到樹體時，樹冠吸收其熱量之一部，使葉面溫暖。此時樹溫高於氣溫，正如土壤吸收輻射熱，地

表溫度高於氣溫也。至於樹體大部分之熱，係由外圍傳導而來。根部吸收土壤之熱，其進行迅速，故效力甚大，根部生活安全。

根部及幹之下部，吸收傳導熱，隨土壤內水分為轉移；根部吸水時，熱亦隨之上升。然水分進行途中，愈升至上部，其熱量亦漸減。樹幹之熱，大部分由空氣直接供給；其次始為根部所供給。孤立樹之新生層造成力 (Cambial activity)，早於林木。因林下土壤，由地被物 (Mulch) 遮蓋，故較開放地為冷也。

沙地及溫暖土壤之樹木，其春季生長開始較寒冷地之樹木為早。孤立木在溫暖土壤，近於地面部分，形成層之造成，早於樹冠部分。林木則否，先由樹冠部分開始，此種差別，或係土壤溫度不同所致。一般淺根性樹春季生長開始早於深根性樹；蓋土壤各層溫度不同；暖春之雨，促進蒸發循環 (Transpiration Current) 量，故樹木急速生長。地被物在春季減緩土壤中熱度之升高作用，往往遲延植物生長之開始。

#### 4. 熱之危害影響

(Injurious effects of heat)

樹齡達開始結實以後，殆不畏高氣溫之危害。然一

切驟然之氣溫，猶足使柞木發育不良，或呈病態，以至於枯死。激烈之伐木，殘存之柞木，立時暴露日光，其微薄之柞皮，尙不足保護形成層，遂因暴熱而枯死，此現象稱爲樹皮焦損（Sun-scald）。

### 5. 寒之危害影響

(Injurious effect of Cold)

此爲直接由霜所受之危害。在某柞之鄉土以內，殆無單由寒害即行枯死者。但春季開始生長以後，往往遭晚霜（Late Spring Frost），受害者多係幼苗（Young Seedling），尤以開放地爲甚。在多數立地，此種危害甚烈。倘無保護柞以禦急劇之日照及驟然之融解，則造林難期有效。因晚霜驟融，新生枝葉之纖細組織，忽失去水分，遂致枯死。有保護柞時，日光不能直射，故幼柞可免晚霜之害。移暖地柞種植於較其鄉土寒冷之地方，不僅罹春季晚霜之害，且罹秋季早霜（Early Autumn Frost）之害，經冬寒而枯死。早霜降於幼枝梢端尙未完備及組織硬化以前之季節，故雖壯年柞齡，其枝梢大部，仍不免乾枯。

美國向來造林育苗，均在保護柞下行之。故各種鄉土耐寒力之太小，至今尙未注意。然無論如何，理想上

霜害之劇烈，必較常見者為嚴重。

6. 溫度對於植物體種種作用 ( Functions ) 之影響

(The effect of temperature of different plant functions)

維持樹木生活之各種關連作用(Interrelated Functions)，在一定溫度限界( Range of Temperature )以內，始能完成。果諸作用應乎外圍狀況互相保持平衡，則樹木之生命發育優良。

器官開始作用之最小限溫度，及其作用終止之最大限溫度，較其作用過程中之最適溫度尤為重要。生態的最適溫度，經過生長季節之全期內，時時變動；故最適於發芽或吐蕾之溫度，未必即適於以後之發育；花期之溫度，低於果實成熟之溫度。惟規定各種作用之最適氣溫，尙少研究之者。

高緯度及高海拔，夏季四個月中具最低氣溫之處，即達森林限界。許多地方，以土壤瘠薄濕氣缺乏，或開放於暴風之下，為劃分樹木限界標準。但一般直接間接，均由氣溫決定之。惟樹木因低溫而不能存在者，非關冬季嚴寒，乃由夏季低氣溫所致。

樹種分布，雖不必泥於需熱量，然各樹概有其一般極普遍的分布區域。生於今日熱帶之樹種，若非為寒冷

所阻，必曾侵入溫帶及極地；又生於今日寒地之樹種，若非只適於長期冬季及短期夏季之環境，亦必早已分布於暖帶。移某種至與其鄉土氣溫顯然不同之處，決不能維持其生命。各樹種之北限界，各略為同溫線；超過此線以外，則因冬寒或早晚霜而枯死；因外圍狀況，妨阻其自然繁殖，遂不能與適於其地方之種屬競爭矣。超過其南限界亦然。

各樹種及值生，雖似各有其限界溫度；出乎其溫度限界以外不能分布；但各種及各植生間，彼此氣候分布地域，差異極大；某數種固限於極狹之氣溫地方，其他種類之氣候限界則不明瞭，多延至高海拔或高緯度。

各種之恰生於其溫度限界地方者，必為單株或孤存之少數；此因局部之氣候條件，獨適於此小羣之生活也。某樹種擴張於較寒之緯度，或較高之海拔，必係僅存於其地方之溫暖處所，如原生於山之北側，若遷至高緯度或高海拔地方，必僅存於新鄉土之南側。故由暖地之樹種，或由外國暖地新來之樹種，在地理上北方，行播種或植樹造林時，務選溫暖位置。反之，遷寒地樹種於暖地，務選較冷之位置。

### 7. 森林植生之限界溫度

(Critical temperatures for forest vegetation)

各樹種需熱量何以不同？究有幾許之差異？至今未能明瞭。概而論之，由經驗上已知各樹種，只能生活於最大溫度與最小溫度兩極限之間，此兩極限之幅，因樹種而變動甚大。氣溫之極限，稱為限界溫度 (Critical temperature)。從而某植生能存在之溫度極限，稱為某植生型之限界溫度 (Critical temperature for the particular type)

最大最小兩溫度限界以內，愈在高溫部分，則植物體各作用之變化進行亦愈強大；最簡單者，如炭同化作用，愈在高溫，則愈增加也。此即 Vant Hoff 氏所主張介乎溫度與尋常化學反應，間之關係。倘溫度超出限界中之某點，則最初害及原形質；繼續超出，則枯死隨之。

8. 最低限界溫度 (Lower critical temperature) 種，變種及永久變種 (race)，抵抗寒害之力不一；故置熱帶植物於攝氏五度之低溫，必致枯死。然極地植物，有耐年中零下二十四度 ( $-24^{\circ}\text{C}$ ) 之低溫者；如白

楊，柳，雲杉，樅之某數種是也。然極地植物，當生長季節，亦如暖地植地之畏寒害。暖地植物，倘遇年中凍結，亦易枯死。由顯微檢查，當植物組織凍結或外圍各細胞之細胞液消失時，含有空氣之細胞間隙，遂充滿冰凌；因低溫本身，對於原形質，縱發生不良影響，際此水分消失及與之同起之膠質系（ Colloidal System ）混亂，亦為枯死之原因。然種子部分，常耐低溫；如松樅等樹種子，常能抵抗液體空氣之低溫。故與其謂植物因寒冷凍死，無寧歸咎於低溫阻斷通發系（ Transpiration Current ）所需之濕氣也。抑世界最冷地方之氣溫，從未落至樹木生存溫度以下者，可知樹木因寒冷而絕跡之故，必係連續之寒冷所致，決非歸於某一時期之最小限溫度也。

9. 最高限界溫度（Upper critical temperature）樹木抵抗高溫之力，亦如抵抗低溫，隨樹種，變種或永久變種而異。但其差異間之程度，不如對於低溫之大耳。完全乾燥之種子，能抵抗70°C之高溫，猶不失其生活力；且能支持100°C之高溫，達數時間。多漿之植物，或植物體，又發育正盛之植物，縱少許超過其最適

溫度，立即發生變化。故將多數園藝植物，曝  $35^{\circ}\text{C}$  高溫，雖尚不致枯死；若在  $40^{\circ}\text{C}$  數日，或  $45^{\circ}\text{C}$  數小時，即不能生活。惟溫泉 (Hot spring) 植物在  $60^{\circ}\text{C}$  或其以上，猶能繁榮。印度一部分地方之氣溫，高至  $50^{\circ}\text{C}$ ；在其地方日光直射下之植物體溫，遂達  $60^{\circ}\text{C}$  至  $70^{\circ}\text{C}$ 。

10. 森林柎木與限界溫度之關係 (Species in relation to critical temperature) 不問緯度南北，海拔高低，若夏季四個月平均氣溫降至  $10^{\circ}\text{C}$  以下，森林遂變為灌木。生長季節延長期間之低溫，決不能抵短期高溫之効力，故生長期內總熱量不能為造林需熱之根據。

Mayr 氏謂不問生長季節之久暫，及生長季節氣溫之高低，凡北半球之造林柎屬，大致各地同一；且謂若某地年中最熱四個月之氣溫為已知，則由預知氣溫他地移來之柎木，倘前者之濕氣適量，即可採用在其地方造林。

11. 同種個體與限界溫度之關係 (Individuals in relation to critical temperature) 柎種雖各有其溫度限界，然同種中各單體之限界溫度，又未必一致。即分布甚廣之柎種，僅知其一般之需熱量，仍不足恃，如



美國南部 Southern Missouri 或更南各省所產之 *Carrya* (英名 Hickory 胡桃科) 及胡桃種子，其苗幹不能耐北方各省 Minnesota, New York 之氣候。然由其北方樹木所產之種子，培育於以上各省，則發育強壯。由美國西北部 California 省所產之 *Pseudotsuga Douglasii*, Carr. (英名 Douglas fir) 採集之樹籽，不能在澳洲 New England 地方發育。然同樹種子，由 Colorado 省所產者，在該地發育轉優。又黑柞 (英名 Blackoak) 在其鄉土 Connecticut 生長良好，但由美國南部中央 Oklahoma 所採同樹之種子，播於美國東北之 New Haven 省，不能耐其地方之第一年冬季氣候。故植樹或播種成功與否，雖須選用優良種子，仍應注意其來源，尤為必要者也。

縱令某樹種自然分布之溫度限界，已達極遠之北方，猶不宜植於較其採集地氣候甚寒之處。據經驗，將較暖地之樹種，移植 (Transplantation) 較寒地方，極不安全；又由寒地之樹種，移植較暖之環境，尙能保持健康，均甚明瞭。故實際造林，寧取較造林地稍寒地方所採之種子，毋取較造林地稍暖地方所採之種子。因取暖地種子播種以後，幼樹尙未成熟，新植地之氣候，即逢生長期之末季，故易罹霜害。由寒地移植暖地則不然，新

極地之秋季延長，不至損害新芽（尤其是花芽）；且往往形成第二期生長（Secondary growth）；由此可知，雖同種之樹，若產地不宜，則種子猶不足恃。

幼林較老林易受寒害，然在老林之下成立幼林，則此害可免；因老林有補救氣候條件之力，幼樹遂可平均發育，且減少危害也。

#### 12. 樹種分布區域之擴張

(The extension of a tree's range)

樹種之自然區域，為繁殖上之重要條件；雖可由人工將其擴大，但決不能如其原區域同樣繁殖。終於自然回復其固有區域，固不問其在區域以外，一時的生存，及樹形之龐大也。

移寒地苗木於暖地，最初數年，激急生長；然木材品質低下，幹形瘠瘦，寔至耗盡體內養分，類於枯死。故將歐洲北部所產之 *Picea excelsa*，移植比利時低地，或法國北部，初年生長甚速，但生長曲線下落亦早，——即生長量減少之年齡亦早——；且其毬果缺乏籽實，易罹病蟲害，未達用材形狀，即行枯死。最近發見如植此樹於澳洲 New England 之南部，亦遭同一之運命。

13·氣溫與森林植生

(Air lewperature and fore-t vegetation)

柎木生長，直接受氣溫影響之現象，僅於某期間的溫度及平均溫度，始能明顯。某柎種或某植生之生長最高氣溫，雖似影響其需熱量，然柎木全體或植生全體所能忍受不生危反應之最高氣溫，則至今尚未確定。

Merriam 氏研究氣溫帶支配森林分布及柎木之生活形 (Growth form)，以氣溫為出乎某柎限界以外，即被其他柎佔領重要因子之一。氏且提出分布於北半球北部陸地動植物種類，在其生長及生殖期間，受冰點以上氣溫所支配；在其南部，則受年內某短期之平均溫度所支配。Pearson 氏及 Shrive 氏，曾研究美國西部山脈之森林垂直分布；其結果謂垂直森林帶之上層，受氣溫支配，下層則受濕氣之支配。

土壤表面，直接感受日照，故地面溫度高於氣溫。因此，若在開放地面幼苗床上設日除以遮斷高熱者，然其功效殊渺。雲杉屬 (Picca)，樅屬 (A. ies)，及其他針葉柎之一部，在發芽以後，莖部木質化以前，易罹地表過度熱害而類於枯死；因地面熱力，最有害於幼莖，且遮斷通發，使苗體下垂；此等熱害，又不限於苗木生

長之初期，且繼續爲害，待二三年生以後，始不如初年之劇烈。除伐 (Clear-Cutting) 森林以後，往往由此引起其他病害焉。

#### 14. 樹種之氣候順化

##### Acclimatization

各樹種雖皆有一定之限界溫度，然植物體內各個作用 (Function) 之要點，隨氣候而殊。即各個作用之限界溫度可以提高，亦可以降下。因之，遷樹種於異氣溫之新地方，設其處之氣候變遷不甚劇時，則該樹種仍可適應此新環境；此現象稱爲氣候順化 (Acclimatization) 。順化性之大小，因樹種而異；對於任何環境，均能順化者有之；其順化力只限於極狹之範圍者亦有之；然猶有縱能生於其天然分布區域以外，終不能順化之樹種。完全順化者，僅限於生活作用全部可隨新氣候爲轉調 (Change in Harmony) 之樹種。故輸寒地樹種於熱帶，營養體生長強盛迅速，但往往缺乏生殖力。雖可增其營養的生長，但開花結實之作用，往往缺乏，因日照亦如氣溫，對於順化有關。

介紹外國樹種，爲研究樹種與溫熱關係實際上最重要之問題。或謂外國樹種之輸入，已可由氣候順化解決

：如將歐洲柑種，輸入美國，設其發育良好，則可稱已經順化；倘其不能生長於美國，一般人必以為經過選種，採強壯之變種。仍可發育；殊不知僅就感覺新植地與其原產地外圍條件一致，逕認為已經順化，未免過於武斷；設其不能生長，逕謂為不能順化可也。且順化一語，僅用於經過各種新環境之勢力時，關於新環境固有性或固有傾向之學識。

茲有幼齡畏寒害，成長以後，漸能耐寒之柑種；此因幼柑根部及柑冠接近地面，溫度變化激烈，爾後柑冠高出地上愈遠，根部入土亦深，則柑體固定；然此非順化之問題，乃該株本身發育之關係。至於某柑種抵抗霜害之力，又係由遺傳而來之特質；猶如同種之下，復分為強壯變種與易感危害變種。採天然分布區域以內氣候不良部分之籽種所生樹木，較其溫和部分籽種所生樹木，耐霜力大。

林業者，於有霜害地方造林；應採用同種中之強壯變種，且應由不良氣候所生樹木採取籽種

### 第三章 氣候的因子（續）

#### 日照或稱輻射

#### Solar Radiation

## 1. 緒論

### Introduction

前此一般林業家及植物生態學者，以為森林植生之垂直分布，由稀疏林相以至最優勢之鬱閉林相，如何排列，必係現日照之強度性質及其延續期為轉移；且以為日光普遍的深入各層之內，故林內灌木下草繁殖與否，亦歸因於日光；而以各樹種耐陰性之大小，解決某樹種可否存在。然最近考察，前此林內日光功效之假說，已發生異議：

據最近研究，林內某樹種能存在與否，各樹種耐陰性之大小，及對於被上木壓倒之抵抗力，今已知其決非需光量之問題，必另有支配殘存生長之其他立地因子以說明林內植生之狀況；多數研究家，已公認此另外立地因子之重要；且指出其支配林內生殖，生長，及連續（Succession in forest）之影響；最早者為 1852 年 Heyer 氏，謂『倘濕氣充足，雖土壤瘠惡，林內生殖仍不致失效；』 Hartig 氏謂『倘營養增加，則雖葉之面積不加大，光之強度亦不加濃，樹體仍可隨之增長』； Mayr 氏且謂『一般林業者，過信鬱閉林下之樹木，發育不旺，誤認為光力微弱所致；彼等忽略有效濕氣及營養物均

缺乏之原因：』氏以爲根之競爭，較樹冠競爭爲烈；Fricke 氏及本書之著者 Toomey 氏指定：『鬱閉林下之樹木，或植物，當未發生根系統競爭時，生長尙能迅速。且謂：鬱閉林下之表土，若無根系競爭，則發生地被物』Lundegardh 氏謂『各樹種之最小需光量，隨區域而略爲一定之數；此需光量大小，隨緯度及海拔高所生顯著變化，乃係氣溫所致。』

## 2. 輻射能之性質

### The nature of Radiant Energy

輻射能 ( Radiant Energy ) 由各種長短殊異之光波組成。相隣二波頂之距離，稱爲波長 ( Wave length ) 。測定波長之單位，稱爲瓩 ( millimicron ) ，通常用  $\mu$  號代表之。雖因各種光線之波長不一，發生種種功用：即熱線 ( heat ) ，光線 ( light ) 化學線 ( actinic=chemical ) ，各由光所達到物體之感應，及該物體之狀況而異，然由日光所發之能力僅有電磁能力，( Electromagnetic Energy ) 之一種。至於熱線光線化學線，在物理學上，僅由波之長度區別之。抑各種波長，差異極大；由極長之輻射線波 ( Radio wave ) 至極短之散光線波 ( Cosmic wave ) 。

### 3. 可見的輻射線

#### Visible Radiation

輻射線中，肉眼可見之部分，為射入眼球 (retina) 後，有反光性及使眼球感光者之波長。將輻射線投射三稜鏡 (Prism) 所現各種波長，或散亂消失，或分析為帶狀。此等光帶功能之一部，按整齊之顏色排列，為赤，橙，黃，綠，藍，紫，皆可以肉眼識別之；由此所生之影像，稱為可見的分光帶 (Visible spectrum)。

設以熱電堆 (Thermopile) ——以熱力發電之連系電池羣，可測極微之溫差，——度量此各種光帶之能力，可由該器所現曲線圖知之。其結果稱為分光能之分配曲線 (Spectral energy distribution curve)。由紫色線，向黃色線，溫度漸高；由黃色線向赤色線，其溫度漸減。各帶溫度之變化，係輻射能分布不等所致。



肉眼可見之輻射部分，稱爲光（Light）紫線以外部分，其光波較短，稱爲紫外線（Ultra violet）；又赤線以外部分，光波較長，稱爲赤外線（Infra red）。肉眼可見之輻射線，其波長由390瓩至800瓩之間；赤外線之光波長於800瓩，紫外線之光波短於390瓩；二者皆出乎視界以外，故不爲肉眼所感。按Affor氏說，則日照能之達於地面者，僅在波長290至300瓩之間。日光分光曲線指出最大功能（Maximum Energy）係在赤，橙（red orange）光線之處，由此向外功能均漸減退至紫外線及赤外線而爲零。可見之分光，僅舍全幅能之弱半。

#### 4. 達到地面之日照或輻射

The Solar Radiation that reaches——the Earth's Surface

若以地球各部，距日遠近不一，及地球表面局部狀況之影響，較之地球自身局部狀況之影響，則微乎其微。

太陽力變動地面某點所受日照能力全部，及此能力之光帶分布，似有兩種過程：(a)太陽有效溫度，不斷的變化；(b)足以支配短波之太陽外圍狀況短期變化<sup>(2)</sup>。此二種變化，逐日約有百分之三以上。——即相隣二

日，其兩種變化，約差百分之三以上。

注(2) Pulling, H.E. Sunlight and its Measurement.  
Plant World, 22 : 151—171, 1919

達到地面植生之日照能 (Solar Energy) ，概受地球外圍大氣 (Earth Atmosphere) 之支配。輻射能 (Radiant Energy) 經過乾燥空氣時，被其吸收之量甚少；因大氣吸收輻射能之高下等級，視大氣中所含瓦斯體之壓力及性質而殊；壓力最大時，輻射能透過量最少。據 Pulling 氏說，謂輻射能之損失，大約歸因於以下各事：

1. 被大氣中永存瓦斯體所分散；  
Scattering by the permanent gases in the atmosphere
2. 被空氣中水蒸氣所分散；  
Scattering by water vapor in the air.
3. 被永存瓦斯體選擇吸收；  
Selective absorption by the permanent gas
4. 被水蒸氣選擇吸收；  
Selective absorption by water vapor
5. 被雲所吸收及反射；  
Absorption and reflection by clouds.

6. 被微塵所吸收及反射；

Absorption and reflection by dust.

7. 化學反應所吸收；

Absorption in chemical reaction

日光與水平面所成之投射角 (Angle of incidence) 受季節及時刻變遷之影響。不惟光度隨季節及時刻而異，且大氣之局部狀況，亦使達到植生之光強 (即光強 intensity) 與光性 (即光之性質 quality)，起極大變化。達到地面某點之日照 (或太陽輻射 Solar radiation) 總量，逐日不同；今日某一時之日照總量，與次日同時之數相較，約有3%至5%之差。雲對於光強及光性，亦有影響。

5. 日照及於森林植生之影響

THE EFFECT OF SOLAR RADIATION ON FOREST  
VEGETATION

日照能促樹木或其他植物體內發生生理反應；概由日照中之光 (Light)，熱 (Heat) 及其持續 (Duration) 等之作用。

6.-1) 光之作用 (Light Effect)——日光為綠色植物行炭同化作用 (Carbon-dioxide assimilation) 所必需。綠色植物，藉日光之力，由二養化炭 (Carbon-dioxide)

，造成炭水化合物(Car bon—hydrates)及放出養氣：此作用(即炭同化又稱光合 Photosynthesis)之生理學的特質，起於由輻射能(Rediant energy)變為化學能(Chemical energy)之間。(7)且光有分配植物形態及構造(form and structure)之力。

注(7) Stiles, W., Photosynthesis, London 1925,

Speehr H. A. Photosynthesis 1926

(6-ii) 陽光對於光合作用(即炭化作用 Photoynthesis = Carbon-assimilation)之關係，已經學者就下列各點研究。即：(a) 光之強度或稱光強(Intensity)；(b) 光之性質，或稱光性(Quality)；(c) 光之持續(Duration)。光強用每單位面積受光量測定；光性用各種光波之長度測定；光之持續用曝光時間測定。——不拘連續及間息，(Continuous or discontinuous)皆適用之。

(6-iii) 投射開放地(Open site)之光強及光性，雖較投射非開放地者，概有平均範圍；然陽光射入開放地，其進行之路，永無限制；且到處似敷光合作用之需。故除在強鬱閉(Dense living Canopies)或人工日遮(Artificial covers)情形外，日光對於供給光合需要，殆無限制。森林學所應注意者，為不同樹種及不同等級鬱閉下之

光強與光性。

(7-i) 光強與光合作用 ( LIGHT INTENSITY AND PHOTO=SYNTHESIS ) 。——日照用於光合作用者，僅占全量中之一小部分。據 Brown 及 Escombe(1) 二氏，在極寬光強範圍以內，行種種測驗結果。察出：『日照能用於光合之部分，僅居百分一之比例。其餘九十九分，完全消失再輻射 ( Re-radiation ) 及傳導 ( transmission ) 』其他學者，雖發見某特種植物體之光合作用，需要百分一以上之日照量。但投射樹體之光，確用於光合作用者，僅居一小部分，則為確定不移。

注(1) Brown, H.T. and Escombe, F., Researches on some of the physiological process of leaves, with special reference to the interchange of energy between the leaf and surroundings

(7-ii) 若其他因子為無限性時，凡可見的分光帶全部之下，及寬泛光強範圍以內，皆可行光合作用。若光強過低，光能必因移去一部，以補充呼吸 ( Respiration ) 所失，而光合遂不完全。若光強過高，亦必因乾燥物質 ( 或稱固形體物質 Dry matter ) 之堆積力減少，而生長量隨之減少。雖非普遍情形，至少亦有數種植物，發生光強

過高之一切現象。Johannson 氏(2)謂：『逐日呼吸及光合之率，隨氣孔開張(Stomatal opening)之等級為轉移。』彼以固形體之堆積力減少，係因氣孔開張時，一遇強光，則大氣界與葉身內氣體之自由交換力，遂受妨礙。結果供給光合作用之二養化炭( $\text{CO}_2$ )亦因之減少。

注(2) Johannson, N., Oekologische Studien ueber den Gasausstausch einiger Landpflanzen. Svensk Botanisk Tidskrift 20: 107. 1926

(7-iii) Stiles 氏(1)列舉十五個影響或可以影響光合作用之因子。此等支配因子，屬於植物之外圍環境，或屬於植物體內。最重要之外部因子，為：(a) 光之強度；(b) 光之性質；(c) 光之持續；(d) 二養化炭之集中量 (Carbon dioxide Concentration)；(e) 水分之供給；(f) 氣溫。最重要之內部因子，為(a)解剖的組織 (Anatomical Structure)；(b) 葉綠素之含量 (Chlorophyll content)；(c) 原形質的因子 (Protoplasmic factor)；(d) 同化產物之堆積 (The accumulation of the products of assimilation)。

注(1) Stiles, W., Photosynthesis London 1925

7-iv 林木因造成新有機物質，遂潛存能力於柑體。復由炭素化合物 (Carbon compound) 之養化，——即呼作

用，——放出能力。若光強超過柑體最小需要量 (Necessary of Minimum for the tree)，則有機物造成之速度，大於其消耗之速度。若降至最小需要量以下，則因炭素化合物堆積不足，生長因以停止，而柑體終歸於枯死。

(7v) 耳年學者，僅知：『倘其他因子為無限性，光合之率與光強為正比例。』惟其測定光強及光合率之方法不正確，故其試驗亦不可靠。今已經 Stiles 氏改正矣。Blackman 及 Matthaii(2) 二氏所用方法，錯誤尙少：彼等亦僅達到：『限制因子之要點』(Principle of limiting factors) 之結論。與前文(譯本第13面) Liebsg 氏最小規律(Law of minimum)大意相同——『某作用 (Process) 受兩個或兩個以上因子所限制時，則該作用之速度，係由效率最小之因子決定之。』

注(2) Blackman, F. F., and Matthaii G.W.C., On vegetation and respiration, Proc. Royal Soc., London, 75 B, 1905

(7-vi) Blackman 氏倡導之限制因子之要點(Principle of limiting factors) 經最近學者研究，對之頗生疑問，即如 Harder 氏(3)令支配光合作用之其他因子，保持一

定常數，僅令某一種因子，在極寬範圍內行種種變異，仍不能成立 Blackman 氏理論所要之關係（relationship）。在 Harder 氏試驗之圖解內，同氏發見：「遞昇同化曲線初期，視所有各因子之強度（concentration）為依違，亦如光線因子之重要。

注（3） Harder, R. Kritische Versuche zu Blackmans Theorie der begrenzenden Factoren bei der Kohlensäureassimilation. Jahrb. f. wiss. Bot. 60: 531—571. 1921

Lündergardh 氏（1）發表：『在耐陰性植物（Shade plants）之一般習性中，限制同化率之某數種因子，等量的限制同化。故某一種因子增加時，亦必分其增加之一部，以補充其他因子。』即如，綠色葉面及葉厚增大時，可以補充光強之減低，雖 Willstätter（3）及 Stol 氏。由種種確實有系統的實驗，對於 Lutimeenko 氏（2）及其他學者之主張，加以反對；但該二氏試驗結果，仍不能查知一定光強之下，葉綠素含量與炭同化率之間，有如何之常數比例，僅得：『葉綠素含量多寡，殆非為光合作用之限制因子，』結論。

注（1）Lündergardh, H. Zur Physiologie und Oekolog-



ie der Kohlensäureassimilation Biol. Zent. 42:  
337, 1922

注(2) Ljubimenko, W., La concentration du pigment ve  
rt et l'assimilation Chlorophyllienne. Revue Gé-  
nérale de Botanique 20:162, 1908

注(3) Willstätter, R., and Stoll, A., Untersuchungen  
über die Assimilation der Kohlensäure. Berli-  
in 1918

(7-vii) 下列之理論，似乎可以成立：「若陽光為限制  
因子，則各樹種各需一定強度之陽光，始獲殘存。惟乾  
燥物質堆積之速力 (Rapiditv) ，不僅因陽光增加逐  
步遞昇，尤隨樹種及環境條件有極大差異。」此種現象  
已由 Blackman 及 Matthäi 氏 (4) 之檢討說明：即  
溫度增加路徑中，其數種植物同化力，較有等單位面積  
二養化炭之其他數種植物，受較多之陽光時，則其同化  
力，亦為後者之二倍。故林分 (Stand) 因疏伐 (Thin-  
ning) 而開放，其鬱閉漸疏；生於其下之植生，不僅  
從此受光較多，且由其他情況，增加體溫，被支配次級  
植生 (Subordinate Vegetation) 之種類，隨疏伐程度  
而異。實乃歸於遞昇氣溫之下，其同化二養化炭 (CO<sub>2</sub>)

之力不同所致也。

注(4) Blackman, F. F., and Matthaü, G. L. C., on  
Vegetation and respiration, Proc. Roy. Soc., London, 76B 1905

(7-viii) 各樹種間，重要的光合差異，視超過最小限以上光強增加如何為轉移。此種差異，若其同化力加速度係數( Coefficient ) 為一定時，則隨供用之濕氣( moisture ) 養分，( nutrient ) 及溫度為變遷。亦如其他環境因子有變化時，從而鬱閉下之光強，亦生變化也。

(7-ix) 一般公認：在低級光強之下，——如極鬱閉林冠( densest forest canopies——同化率與光強為正比例。若光強由此繼續增加，則其數種植物之同化速度，在距達到全光( Full light ) 以前尚遠之點，即漸近一定常數，不再與其光強成比例數而增加矣。除非支配光合作用之其他各種因子，一律提高，同化速度，始不為此常數所限制。

(7-x) Garner 及 Allard 氏，在各種厚薄不同之許多架布帳下，培育苗木。由全光線( Full sunlight ) 至全暗或全光線範圍之間，顯示光強決非支配堆積物產量之重

要因子。此產量乃隨季節不同，致其全光線（ Full sun light ）之強度有大小也。Gratovsky 氏在夏至（ Midsū mmer ）之頃，用厚薄不同之粗棉布（ Cheese-Cloth ），罩於裸地播種向日葵（ sunflower ）之上，在此試驗中，分為左列各等級：（1）以未設布罩部分之最大光強為一千燭光——此燭光係以距光源一呎遠之照度為標準，故稱為 Foot-Candle）——即以此部分之光強為標準為一百。（全光強）<sup>2</sup>；（2）在一層布罩下，最大光強為 45%；（3）在三層布罩下最大光強為 27%；（4）在四層，作布罩下最大光強為 13%；（5）在五層布罩下最大光強為 5%；（6）在七層布罩下最大光強為 2%。由此種種光強罩下栽培之植物，成熟以後，掘出稱其乾燥重量；在全光強——即不設布罩者——經一層布罩三層布罩至四層布罩，其重量之差，尚不甚大，在五層七層下栽培之植物，乾燥重量，忽然低減甚多。因如此厚層遮斷光之透過，故植物感光不足，光合作用遂不充分。從而支持植物正常利益（ Normal gain ）所需之養分，亦不能完全供給矣。

注（ 1 ） Garner, W. W. and Allard, H. A., Sunlight and plant growth.

注(2) Grašovský, A., Some aspect of light in the forest  
Yale Univ. Sch. For., Bull., 23, 1928

(7-xi) 由上述，倘其他之因子為無限性，則光合作用尚未衰滅以前，光強可以減至開放地全光強以下，尚不礙植物之發育。

8-i 最小限光強與光合作用 (MINIMUM LIGHT INTENSITY AND PHOTOSYNTHESIS)——早年學者，對於柑木最小需光強，曾行種種試驗，惟其試驗，係在林內枝葉枯彫生殖力全失部分所行者，遂以為柑冠以內，所有葉之彫落，林下木(Earest Floor)結實力之衰弱等，必係光力衰弱，光性改變所致。但據最近研究則此等衰弱原因，與其謂為光強過低所致，毋寧歸因於各因子之複雜關係也。故從前學者，所得結論，失其效用，而被拋棄。晚近研究結果，森林植物當其他因子為最惡狀態時，則低級光強之下，——即光強在尋常林內光強以下——，利用二養化炭，造成炭水化物，其速度超過因呼吸作用失去二養化炭之速度。

(8-ii) G. P. Bürn 氏。用盆播實生苗木試驗。將多種之苗木，置於有統制大氣之場所。除光強外，其他之一切立地立子，皆使之恰在生長最適度，或近於生長最適

#### 44 國立北京大學農學院森林立地學講義

度。如此配置後，經多次改變光強，遂決定為保持「光合作用所用去與呼吸所放出二養化炭量」之平衡現象所需之最小光強。試驗終了時，計算統制大氣中失去一部分二養化炭；是為植物體內有機物質增加之指數，亦即光合作用所使然。若統制大氣中增加一部分二養化炭，是為植物體內，已蓄積有機物質消耗之指數；其結果遂致植物體乾燥重量減少。氏就各柑種，考查使呼吸作用所生  $\text{CO}_2$  與光合作用所耗  $\text{CO}_2$  量相等時之最小限光強，用關係單位測定如下：

<i>Pinus ponderosa</i> .....	306
<i>Pinus sylvestris</i> .....	287
<i>Thuja occidentalis</i> .....	186
<i>Larix laricina</i> .....	176
<i>Pseudotsuga taxifolia</i> .....	136
<i>Pinus murayana</i> .....	136
<i>Quercus borealis</i> .....	133
<i>Celtis occidentalis</i> .....	115
<i>Picea engelmannii</i> .....	106
<i>Pinus strobus</i> .....	104
<i>Picea excelsa</i> .....	87

*Tsuga canadensis*..... 84

*Fagus grandifolia*..... 75

*Acer saccharum*..... 34

注(1) Burns, G. P., Minimum light requirement referred to a definite standard. Vt. Agr. Exp. Sta. ( Burlington, Vt. ) Bull 235. 1923

( 8-iii ) 此試驗指示十四種樹，呼吸作用呼出炭酸氣  $\text{CO}_2$  與同化作用攝取炭酸氣等量時，各該樹種間光強之變化。倘其他立地立子，恰在適度或近於適度，則此試驗數即為各樹種耐陰性 ( to survive under shade ) 之指數 ( Index ) Burns 氏所用最小光強，係以電光所生之功能 ( Energy generated by Electric light ) 為基礎；且用熱電堆 ( Thermopile ) 測定之。

( 8-iv ) Bates<sup>1</sup> 氏在距電光光源遠近不同位置，播種許多針葉樹。研究各該樹種最小需光量 ( Minimum light requirement )。在此試驗中，除光線外，將其他各因子，皆保持生長之最適條件。若光強因播種位置距光源遠而減低，則距離之線上，必生限界點 ( Critical point ) ；較此點再遠，則由於光力微弱，該受限制之樹種，必類於枯死。氏置熱電堆於此限界點，以測定由電光所生輻

射能之總量 氏即以此總量為最小限光( minimum light )之標準。( standard) 同氏據此，考知在最小限光之下，樹苗 ( tree-seedlings ) 自發芽後，可生存不定之時期，以至十一個月之久。彼獲得下列結果

樹 種	必需之最小限光強
Species	Minimum light requirement 為晝間日光之百分數 per cent daylight
<i>Picea taxifolia</i> .....	0.37
<i>Pinus edulis</i>	0.91
<i>Pinus monticola</i>	0.97
<i>Picea engelmannii</i>	1.02
<i>Pinus aristata</i>	1.20
<i>Pinus ponderosa</i>	1.60
<i>Pinus contorta</i>	1.90
<i>Pinus resinosa</i>	2.30

注(1) Bates, C.G., The relative light requirement of some coniferous seedlings. Jour. For. 23:869 .1925.

( 8-V ) Bates及 Rooser 氏最近更行組試驗。

其結果與上文所述Bates氏之考察，大要相似。彼等用人工光線，且用 Coplenty 熱電光，測定輻射能。在極寬範圍光強以內，比較發生九個月之各種樹苗，遂得下列之論證。由實驗計算之數字表示其數種苗木，可以生存之理想最小光強，對於全光各為其百分之幾？

樹 種	理想的生存最小需光強
Species	Theoretical minimum light for growth 對於全光之百分數 Percentage of full light
Sequoia sempervirens.....	0.62
Picea engelmannii.....	1.10
Pseudotsuga taxifolia (華盛頓產).....	1.30
Pseudo tsuga taxifolia (可倫比亞產).....	1.50
Pinus ponderosa (可倫比亞產).....	1.80
Pinus ponderosa (Arizona產).....	1.80
Pinus strobus.....	2.00
Pinus banksiana.....	2.38
Pinus contorta .....	2.40
Pinus resinosa .....	2.55



*Pinus flexilis*.....3.70

*Pinus edulis*.....6.30

注( 2 ) Bates, C.G. and Roeser, J., Light intensities required for growth of coniferous seedlings. *Jour. Bot.* 15: 185-194. 1928.

(8-vi) Gracovrky氏 1，在生長條件皆適度之下，培育各種針葉樹及闊葉樹。惟令光強之一條件變化種種，以期決定植物不能繼續發育繼續生存之限界點。其試驗係導入日光；且用 Macbeth照度表 ( illumino = meter) 測算光強。此照度表，可測對於光合作用有效之可見的分光，或可見的日照分光。據其試驗：某數種三年生盆栽苗木，其他之生活條件，皆為最惠，僅各級之曝光強度不同，則其生長情形，亦隨級而殊。此四級之最大照度 ( illumination ) 各為一萬燭光，三百燭光，六十五燭光，及二十五燭光 ( Foot-Candle )。在試驗進行之第十個月，將所有苗木，曝於最大照度為三百燭光，或多於三百燭光之下，則其他生育條件良好時，遂充量發育。其曝於六十五燭光者，情形極不一致，由優良發育，降至枯死者均有之。曝於二十五燭光者，除某一種為例外，其餘均枯死。此試驗指定在開放地，倘日光強度，永不超

過三百燭光，或界於3%至4%最大光強之間。至少有數種林苗，仍然可以生存。且表現新生長延長至十個月期間以上。且以上試驗之林苗，示知『最大光強以上，若再充進，則僅在些微之增加，始為林苗維持生長條件所必需。此後若繼續增加，則植物體發育狀況，及生長速度，所受之效力，似乎全然不與光度增加為比例也。

注(1) Grasoovsky A. Some species of light in the forest Yale Univ Sch For. Bull. 23, 1928.

(8-vii) Grasoovsky氏亦採 G.P. Burns發明之方法，行一組試驗；但測驗光強，不用熱電堆而代之以 Macbeth 照度表。由其試驗，查得係持光合呼吸 $CO_2$ 之平衡，所需之光強，平均約為一百七十四燭光。

(8-viii)以上三種試驗者，Burn G.P. 氏 Bate G.G. 氏及 Grasoovsky A. 氏自從試驗殘存於統制環境(Controlled environment)下各樹種，決定其最小需光強之後；更著手用同一方法，以測驗各種天然林型以內之光強；比較天然林內光強，是否與殘留於試驗環境下各樹體最小限需光強各個一致？

(8-ix)由實驗結果，證明：保持呼吸作用與光合作用

平衡之最小需光強，較疏鬱閉林隙 (Opening spaces) 之全光強甚低，概為後者十分之一以下。天然林下，鬱閉愈強，則林下雜草灌木愈少。雖在溫帶最強鬱閉林下，地面完全不見下木雜草，其透入林內之光強，猶在 2% 至 4% 以上。故林內不能發生幼樹，(注1) 或其他之次植生 (Subordinate vegetation)，必另有原因，決不可歸咎於光合作用所得  $\text{CO}_2$  不敵呼吸所失  $\text{CO}_2$ ，係由光強不足所致。換言之：植物體行光合作用時，吸收之  $\text{CO}_2$ ，應與植物體呼吸時所失之  $\text{CO}_2$  量平衡；若光強不足時，——低減至維持此平衡所需光強以下——則光合作用減少；因之，所吸入之  $\text{CO}_2$ ，不敵呼吸作用所失  $\text{CO}_2$  之量。今林下光強 (2%—4%) 至少亦在保持以平衡所需光強 (1%) 以上；故林內不能發生幼樹或其他植物，必非因林內光強不足所致也。

。Bates 氏謂美國松 (Douglas Fir) 及美洲唐檜 (Engelmann Spruce) (注2)，在全光強 0.77% 至 1.02% 播種所生之苗木，其乾重較生於開放地全光強下者，顯然增加。彼發表：尋常鬱閉林內之光強，並不達阻碍植物殘存之陰暗；新植林在林相達光線受限制以前，——即極疏林相，尚未鬱閉，——各林木在土壤內

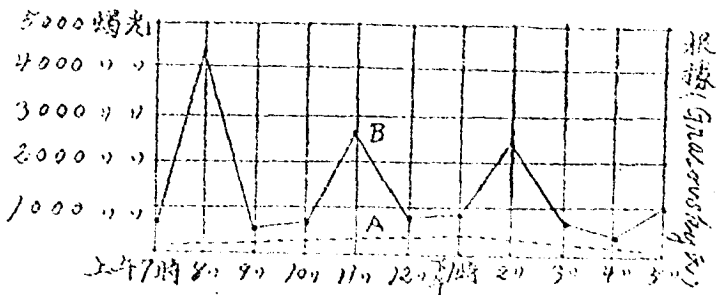
，即已發生根之濕氣養分競爭，或其他環境因子限制力：此等現象，實為阻礙天然落下種子，或其他次植生發育幼植物之重要原因；初非光力微弱所致也。

注(1) 此幼樹，指成林以後林木本身落下種子所發生者。一般以為鬱閉林不透日光，雖落下種子亦不能更新；故在天然林行豫備伐，下種伐，後伐，在人工林行疏伐受光伐殊不知此等撫育獨及天然造林法。——譯者，民國二十七年六月

注(2) 美國松即阿里岡松。學名 *Pseudotsuga Douglasii* Carr. 英名 Oregon pine. 美洲青杉 學名 *Picea Engelmannii* Engelm 英名 white spruce.

(8-×) Gracovsky 氏，測驗全生長期內多日，及一日內各小時之林內光強（注3）；係將鬱閉之美洲白松（White pine），（注4）林內，快晴天所得之測驗結果，繪成曲線圖。又於同日人為統制環境下，植物恰可殘存之光強，亦接與天然林相當各級，繪成曲線圖。

第一圖



## 52 國立北京大學農學院森林立地學講義

第一圖——以燭光 (Footcandle, 爲單位, 表示 Keene N. H. 地方鬱閉之白松 (white pine) 林, 及統制環境下, 近於夏至某快晴天之光強。點綫 (A), 指示統制環境下培育白松苗木, 經過全生長季節, 仍可殘存, 且係遮界生長各小時之光強。實綫 (B), 指示三十年生適度鬱閉 (Fully Stocked Geschlossen) 毫未更新 (Reproduction Verjüngung) 亦未發生次級植生 (subordinate Vegetation) 之白松林內, 某點之光強。垂直綫——即 Y 軸——爲燭光等級; 水平綫——即 X 軸——; 爲晝間各小時。然晝間林下之光強, 決無如統制環境光強之低時。換言之, 即晝間林下光強, 永遠大於人爲環境下之光強也。

實綫 (B), 表示不論在晝間, 任何時刻, 林內光強決不如人爲苗木僅能殘存之統制環境下光強之低。且前者 (B) 各小時之光強, 約爲後者 (A) 各小時光強之 50 倍至 100 倍之高。由此, 則林下不能發生次級植生, 似非光強低下所致, 乃受其他因子所限制耳。

注4. 白松 學名 *Pinus strobus*, L. 英名 Weymouth Pine.

9. 光之性質與光合作用 (LIGHT QUALITY AND PHOTOSYNTHESIS) 。 因達到林蔭 (Forest-floor)

，光線有二：其一，經過樹冠，傳入林下之光；其他，爲由葉面或他物體反射之光。學者遂有努力於濾過光，與非濾過光性質之差異者。

投射裸地孤立木之光，爲最高級的，非濾過光 (Unfiltered light)。而投射林內樹體之光，爲現於反射光 (Reflected light) 或傳導光遞增路途中，百分率之一部分。此光之強度，隨鬱閉度爲反變。據 Zederbauer 氏研究 (注 1)，表示：鬱閉林內，供天然更新或栽植下木所需之光，與達利孤立木之光，性質不同。光經過樹冠，或由他植物反射時，其性質遂改變。』。Zederbauer 氏，遂主張：鬱閉林內，較開放地，不僅光強甚低，且投射兩者之光性亦不相同。Kauchel 氏之研究 (注 2)，較 Zederbauer 氏更進步；

彼就投射鬱閉林際各種光波之長度，獲得關於光性之證據；且發見穿過林冠之光強，僅居所受上方全光強之 0.006 至 0.0003。Linsbauer 氏 (注 3)，以爲：鬱閉林冠上層，僅傳導所受上方全光強之 0.003 至 0.0008。Griffon 氏 (注 4) 以爲：穿過林冠之總光量，既係如此之少，則其功用亦甚微。本書著者 Toomey 氏，在美國 New Haven, Connecticut 省，研究栲斗 (Oak (英), Quercus)

cū(拉) )，栲( Beech(英)Fagus(拉) )，及其他闊葉樹林(Hardwood forest) 透光力——即傳導上方投射林冠之光於林內——當早春樹葉尙疏時，較晚秋之透光力爲大。即在晚秋失去葉綠素以後，其透光力猶小於春季甫放葉以後之頃。由以上情形觀之，透過林冠之光度，雖性質變動，似乎對於林蔭光線性質，影響甚微。且不論光性如何變動，主要支配林蔭光線者，當屬葉部及他物表面反射光線之性質。

注(1) Zederbauer E., Das Lichtbedürfnis der Waldbaume und die Lichtmess Methoden. Centralblatt f.d. Gesamte Forstwissen: s. 325-330, 1907.

注(2) Knuchel, H, Spektrophotometrische Untersuchungen im Walde. Mitteil. d. Schweiz. Cent. f.d. forst. Versuchswesen, 11. 1914.

注(3) Linsbauer, I., Untersuchungen über die Durchleuchtung von Laubblättern. Beih. Bot Centralblatt 10, 1901

注(4) Griffon, E, L'assimilation chlorophyllienne dans la lumière solaire qui a traversé des feuilles. Revue. g. d. Botanique 12: 1900

(9—ii) Schull 氏(注1)，最近已考知：

由綠色樹冠最大反射最大百分率之光量，其光波之長度·常介於540瓩及560瓩(uu)之間。晚秋色之葉面——如爬山虎(*Pseudaquiu quifolia*之深紅色(crimson)秋葉；白樺(*Betula alba*)之亮黃色秋葉等。——不拘何樹種所成森林，其稍大之反射光之光波，恒介於640瓩(uu)至660瓩之間。Brown氏及 Escomb氏(注2)

以光之作用，及傳導，計算光之能力；惟假定由植物葉面反射之光量佔極小部分。Shull氏則以為

反射光佔重要部分。同氏試驗結果，發現

由葉反射光之光波長度，因下列原因而極不相等；即

：(1)因樹種而異，(2)因年中季節而異，(3)因由葉表與由葉背發出而異。同氏就一定節季，試驗各樹種之反射光量，凡由葉面反射之散光線(Diffused light)

，若其反射角為直角，——90度——則至多佔葉面所受光量之50%；例如由白楊(*Populus alba*)葉之背面反射之散光是也；其他各種，則至多為所受光量之3%至6.5%，如丁香花(*Syringa vulgaris*)是也。

注(1) Shull, C. A. Reflection of light from the surfaces of leaves. Science 67: 107-108, 1928.

注(2) Brown, H, T and Escomb F, Researches on some of the



physiological processes of green leaves with special reference to the interchange of energy between the leaf and its surroundings. Proc Roy Soc, London B, 76:28-111, 1905

(9—iii) 直接投射葉面之光，及由微塵反射投入葉面之散光，兩者投射葉面後，一部分被葉部吸收，他部分再由葉面反射，此為肯定之事。假設全部盡被吸收，則植物體映於吾人眼球時，必全成黑色；又假設全部盡被反射，則植物體映於吾人眼球時，亦必全成白色。惟實際各種光波 (Various wave lengths) 被吸收或被反射之程度不一，故映於吾人眼球之陰影深淺，及色彩，亦隨樹種而極不一致。即如：加拿大鐵杉 (*Tsuga canadensis*)，加拿大紫杉 (*Taxus canadensis*)，具深暗樹陰及深綠色葉面，皆表示投來之光，僅有小部分被反射；且此反射之光波長度，又多為綠色之分光；反之，楊葉樺 (*Betula populifolia*) 具極淺樹陰，及黃綠色葉面，皆表示投來之光，大部分被反射；且此反射之光波長度，又多為黃色之分光。因此反光程度不同，故將上述樹木，置於等一發光體之下，則鐵杉及紫杉之吸光量多於楊葉樺之吸光量。

(9—iv) 林蔭下之光線，減低達於為植生限制因子之

點；故最初枯死於林蔭下之樹種，為反射最多量之光線者。若其他環境因子皆為無限性，則殘存於最低光強下之樹種，必為反射最少量之光線者。強鬱閉下猶能殘存而發育之樹種——即如：

加拿大紫杉 (*Taxus canadensis*)，加拿大鐵杉 (*Tsuga canadensis*)，白檜 (*Picea alta*)，脂樅 (*Abies balsamea*)。——概係葉蔭深暗，葉色深綠。而毫不能殘存於強度保護樹 (*Living cover*) 下之樹種；——即如楊葉，樺 (*Betula populifolia*)，響楊 (*Populus tremuloides*)，沙糖 (*Acer saccharinum*)，美國杏 (*Prunus pennsylvanicum*)，——概係葉蔭淺而葉色淡黃綠。前者耐庇蔭之性，一部分原因，為其反射量甚少所致。後者承受光線後，多被反射。然前者雖居於強鬱閉之下，仍與後者浴於強光下者收同等有效光強，以達到其葉綠體 (*Chloroplast*)。

(9-v) 據 Sayre 氏 (注1) 及 Gracovsky 氏 (注2) 最近研究，以為：

光線當通過林冠以達林蔭時，雖中途改變其性質，若光強極高，則變性對於更新或其他林蔭次植生發育之速度影響極微。Sayre 氏之結論有如下文：

『若能力價值 (Energy Value) 充足，則可見的分光帶中各種長度之光波，其功效相等。實際可見分光帶之各部分，其能力價值雖彼此不等，而低強之紅色光帶，猶可與高強之藍色光收同等光合作之效果。』

(9-vi) 因此，鬱閉下之光雖與開放地之光性質稍異，除由其差異之度致可用之能力價值發生變動外，其支配植生發育速度之影響，殆屬極微。

(9-vii) 可見的分光帶中，各種光波雖均可供森林植物光合之用；又能力價值充足時，各種光波下乾物質堆積率，雖顯然相等，但植物體全部之利益，在分光帶全部範圍以內，較在某一種光波內為優良。換言之，即：浴光較多者，其體格發育亦愈充足。

注(1) Sayre, J.D., The development of chlorophyll in Seedling in different ranges of wave lengths of light Plant Physiology 3:71-77, 1928

注(2) Gracovsky, A, Some aspects of light in the forest Yale Univ Sch For, Bull 23 1928

10 陽光與樹形 (LIGHT AND TREE FORM) ○ 一一 陽光除影響光合作用外，尚有支配樹木或其他植物形狀構

造之影響。此影響概起於下列兩勢力；

1. 使樹木成矮態之勢力或光及於樹木之矮作用

The Dwarfing effect of light on trees

2. 使樹木有曲光性之勢力或光及於樹木之曲光作用

The Phototropic effect of light on trees

11. 光強光性及於樹軸伸長之關係 (The Relation of Light Intensity and Light Quality on the Elongation of the tree Axis)。——樹軸延長生長，受陽光阻礙。延伸生長多起於日沒以後至日出以前，且在深陰處行之。在全光強時刻，生長量最少。從前學者，已考知光之勢力，足以遲滯樹幹或他植物莖之延伸生長，或使其形成矮態。Palladin 氏(注1)用圖解法，表示光線如何阻碍某特定樹種延伸生長狀況。使樹木成矮態最大之勢力，為由稍短光波——藍紫色分光 (Blue-violet)——所發出之光；使樹木成矮態最小之勢力，為由稍長光波——紅色分光 (Red)——所發出之？。

注(1) Palladin, W, Plant physiology (Edited by Livingston)  
Philadelphia, 1926.

11-ii 生於「林分」(Stand) 或林隙 (Openings in

Stands) 之樹木，經過一日之全晝，較生於極疏鬱閉 (open) 之樹木，受稍低級平均光強之支配。倘其他各環境因子良好時，而對於光之矮態作用，亦設法防除，則前者樹高增長，必大於後者。浴於全光強之某樹種，如葉部極小，即是陽光矮作用 (Dwarfing effect of light) 之表現；故同株橡類 (Oak 英 *Quercus* 拉丁文屬名此處指落葉種，如 *Q. dentata* *Q. serrata*……) 生於樹頂之葉，因浴於全部『上光線』 (overhead light) 而葉面甚小；生於稍低樹枝之葉，因庇陰最深而葉面極大。某葉種浴於某種，『光照』 (illumination) 之下，則樹蔭之濃度受，該光強度之支配；生於濃蔭下之樹體，葉部為稍暗綠色。光照強度 (intensity of illumination) 之作用，概表現於葉體之內部構造，尤其是『柵狀組織』 (Palisade tissue)：光照愈強，此組織亦愈增。

(11-iii) 極強之陽光，足以影響原形質 (Protoplasm) 之命運。此致命之影響，與熱 (Heat) 作用毫無關係。惟自然界決無顯然由過度光照，致樹體於死亡者。用過度光照之有害形質 (Character)，已由植物體內為減低射入葉綠體 (chloroplast) 光強而生之保護機構 (Protective devices) 所防止；在各樹種，此構造

由葉對於光線之適應位置表示之。即如：(1)葉身蒙以毛茸；(2)葉面光澤，以便反射投來強光；(3)葉面觸強光自身起合攏作用等是也。一般學者，以為：一定樹種，各有適應陽光之樹冠（形狀），換言之，即樹冠光形狀多受陽光之支配。且生於開放地之樹冠（Crown）模形，與生於林內之樹冠模形，顯然不同者，亦由於浴光強度不同所致。林內樹木不能永保其下枝為生活狀態；下枝枯死以後，經不同期間，——視樹種作業法及鬱閉度而異——遂枯壞脫落；所餘之樹幹，「枝下高」（Boles clean），約為樹高（total height）之一至三分。下枝枯死原因，多謂由於投入林冠下部光強漸稀所致。然實際上光強決無減低以致為林內下枝枯死要因之事。孤立木若無根之水分養分競爭，——即他樹之根與此樹之根互為爭求水分與養分——則精緻之食物，足敷支持全樹冠之用。一至林內，則因根之領域被限，遂覺養分不足；待吸入之養料不充足時，遂不能充量供給，混合食物以支持全樹冠，下枝亦遂停止生長，終於枯死。Lundegardh氏（注1）謂：「林冠內部樹葉之凋謝，及林內下枝之枯死原因，與其盡謂為光力微弱所致，毋寧側重於根域（root sp-

ace) 漸小『濕氣』(moisture)及『養分』(nutrients)漸減之結果也』。Stalfelt氏(注2.)謂：北側之陽光雖弱，然松屬(Pinus)之北側葉針反較南側之葉針留存期久。

注(1.) Lundegardh, H., Klima und Boden, 1925.

注(2.) Stalfelt, M. G., Zur Kenntnis der Kohlenhydratproduktion von Sonnen- und Schattenblättern, Medd. f. Statens Skogsforsöksanstalt 18, 1921.

(11-iv.) 由以上所討論者，則林木下枝及林冠內部樹葉之枯死，似由各因子所成複合原因所致，決非光線單獨作用也。林內下枝枯死林冠內部樹葉凋落時之光強，尚在光合作用所需最低光強以上。

12. 光強光性及於曲光作用之關係 (The Relation of Light Intensity and Light Quality to Phototropic Effects) 。——陽光及於樹形(form of the tree)之影響，截然可由『向日性』(heliotropism)解釋之(注1)。凡含葉綠素植物，皆向光源之方向彎曲；故生於他株庇蔭下之幼樹，必向外彎曲，或向與此庇蔭樹軸反對方向而彎曲。此種曲光性的反應(Phototropic response)，已由Strasburger氏等解釋，為植物向光側延伸生長(Elongation

被阻礙，背光側仍繼續延伸生長之結果（注2）若植物體各面相等的俱被光照，則不問光強如何低弱，決無彎曲現象。分光帶中，以藍紫線（Blue-violet）——尤其是紫外線（Ultra-violet）——禁阻延伸生長最力。且此等線，最易引起曲光反應。依Benecke-Jost氏說（注3），曲光性（Phototropism）發生於可見的分光帶（Visible spectrum）之全界。光波稍短之藍紫線，較光波稍長之紅線，對於引起曲光生長（Phototropic growth）必更有效；紅線之效果（effect）極不常見（注4）。又因此等『向光運動』（Heliotropic movements），足以支配樹形，故分光帶內藍紫線部分，於植物自身行向光運動時，造成特殊之作用（Function）。

注(1) 向光性(Heliotropism)與曲光性(Phototrophy)意義不同：——

植物或植物體之某部分，為營求光線，以支持已體，遂由可動的(motile)器官，向光彎曲，或向光分枝，——經過至生長期盡然。——此因光源影響而完成之種種運動，稱為向光性。

然樹冠向一方發育，及莖之向光彎曲，未必盡由陽光刺激所致，有時植物之一側受光其強，遂引起其側向養分



甚多之處生長；反之，背光處發育遂不完全。Weisner氏稱此為曲光性。M. Bisgen, und E. Miinch——Bau und Leben unserer Waldbäume, ——Thomas Thomson: English Translation p. 47-49. 1931——譯者，民國二十七年五月

注(2) Strasburger, E, Textbook of Botany [Lehrbuch der Botanik für Hochschule] 1921g

注(3) Benecke Jost, Pflanzenphysiologie, Jena, 1923.

注(4) Gracovsky, A, Some aspect of light in the forest Yale Univ Sch. For. Bull, 23, 1928.

### 13. 溫度之影響。

#### Temperature Effects

各樹種必有其氣溫限界之環境。而氣溫限界，介於極大限與極小限之間。樹木領受生活必需之熱源有二：  
(a) 由大氣吸入溫熱，(b) 直接得於輻射之溫熱。寒暑表及

(13-ii) 自計寒暑表 (Thermometer and Thermograph)，概置於不與日光直接之林下或百葉箱內；故由寒暑所得之溫度材料，不能完全斷定樹木需熱度或某立地之溫熱性質。為確知有效溫度起見，不但氣溫，即

輻射熱能 (Thermal energy of solar radiation) 亦有考察之必要：某樹種生於其『鄉土區』 (Range) 內寒冷部分，較生於溫暖部分，須浴於較多之直接輻射中。若某地方之氣溫不充足時，須選用極疏鬱閉 (More open Stand) 之樹種。遂可充量浴於熱能 (Thermal energy)，以補償之。(注1)。

注(1)：按此處所指之極疏鬱閉樹種，即生長緩慢，且耐陽光之種類。——譯者，民國二十七年六月。

(13.-iii) 『疏鬱閉』 (Openings) 之林木，經一度間伐後，較未間伐以前，接受有效溫熱能為多，由此所增之溫熱與其所感直接日光為正比例，且增加之量，對生此後生長 (Growth) 關係重要。不惟氣溫在間伐以後，因接受直接日光。高於間伐以前『散光』 (Diffused light) 下之氣溫：即可供根用之地溫，尤其是地表溫度，亦因日光直接照射土壤影響，較未未間伐以前之地溫增高。據李某之研究，疏鬱閉林隙地表之溫度，當晴天之午刻，較適度鬱閉 (Full stocked stands) 白松林 (White pine = Pinus strobus, L.) 林隙地表溫度增高  $11^{\circ}\text{C}$  至  $22^{\circ}\text{C}$ ；即較之有『落葉地被』 (litter) 之地表溫度，猶可增高  $40^{\circ}\text{C}$ 。為促疏鬱閉林早結實及促

進生長而行之『間伐』(Thinning)，似以提高氣溫爲一部分見地；且以許多立地，常以溫度爲其限制因子焉。——參考本書P.11第一章13.限制因子(Limiting Factors)。

#### 14. 輻射之連續與連續之影響。

Duration of Radiation and Effects.

因各地緯度(latitude)及海面高(Altitude)之差一定期內晝夜時刻比例，亦隨地而殊。Garner氏及Allard氏(注1)移多種植物於暗室數時間，以代表一全夜，與種種之縮短浴光時間相配，以代表全晝(注2)；如是，則浴光與夜間之時刻，俱被縮短，猶得保持二者相互之比例。逐日之晝間浴日光連續時刻，由每日五小時之最短限度，以至每日十二小時之最久限度。二氏試驗結果，發見：——

植物所得之生長率(Rate)及生長量(Extent)，又達到完成開花結實所需之時間，皆受逐日浴光期間差異之影響。

注(1) Garner, W W., and Allard, H, A, Sunlight and plant growth, Jour, Agr, Res, 18: 1920 Further studies in photoperiodium, Jour, Agr, Res, 23:1923,

(14-ii) 極北地方之植物生長全期，幾盡爲永晝。反之，由此向赤道距此甚遠地方，晝夜交互；生長期內之「日照時間」，半爲深夜隔斷。故生於前者之樹種，較生於後者之樹種，所需生長期間爲短，即敷開花結實之用。此種生長期之差別，或者一部由光線以外其他氣候因子所引起。而天然鬱閉 (Natural canopies) 林內之「下木」，長期沐於弱光，另有一定生長之特質，似與短期沐於強光，或沐於驟然變動光強之下，結果不等，換言之，光弱而補以長期，光強而沐於短期，其結局未必即相等也。

(14,iii) 雖光強光性均同，若植物體一係間斷沐光，一係連續浴光，則二者所得之功效不等。Warburg氏(注1)發現：此二者之光合速度，確不相等。Ursprung氏(注2)發現：——  
間斷沐於「較全光強稍低光度」下之植物體，所造之炭水化物，較繼續沐於全光強下，植物體所造之炭水化物爲多。

注(1): Warburg, O., Über die Schwindigkeit der Photochemischen Kohlensäurezersetzung in lebenden Zellen, Biochem., Zeit, 100, 1919.

注(2) : Ursprung, A., Über die Stärkbildung im Spektrum.  
Ber. Deut. Bot. Ges, 35, 1917.

(14-iv) 由上之研究，吾人可推知：——

天然鬱閉林內透過林隙(Openings)之光線，最利於光合作用。

(14-v) 季節，及晝夜之長短，為決定：——

樹形(form) 分枝(Branching) 根之生長(Root growth) 色素(Pigment)之造成，有性生殖及成熟之開始，調節，等等作用——

之重要因子。逐日光照連續時間，不僅支配，「同化造成物之數量」。且決定「同化物對於植物體之用途」。

#### 15. 「輻射能」與「森林植生」關係結論

Summary of Radiant Energy in  
Its Relation to Forest Uegetation

A. 因輻射能支配森林樹木之形狀；故鬱閉林內之樹形，異於孤立木之樹形。又因輻射能妨害樹高生長，常使樹木成矮態；故光合作用不足時，若光強繼續低減反促樹高生長有遞增趨勢。倘其他支配生長各因子，不受限制(not restrictive)；則同齡林木，生於林蔭者，必較生於林隙者高大。

B. 林木或其他植物，由CO<sub>2</sub>及水分，造成炭素化合物，必藉日光之力；故林木生活必有需光強度之最小限界；如光強低至限界以下，則光合作用攝入之能力，不抵呼吸作用放散之能力，而樹木枯死矣。

C. 「各區域」間，或「各時刻」間之光強，光性，雖差變甚大，但其他立地因子充足時，則任何區域，供孤立木利用之光強，皆放樹木優良發育之需。

D. 陽光對於林立之樹木，極為重要：其要點側重：  
——

某樹被他樹庇蔭之影響；又側重：——

鬱閉及於下木所接陽光之「強度」，「性質」，及「連續期」之影響。

E. 達鬱閉之林木，不僅支配下木。光合作用所需陽光之強度，與其性質；且使光合作用所需之其他物理因子，發生變化 (bring about changes in other physical factors)：即如，鬱閉愈增，光強愈減，兩兩進行，達某程度時，光線遂為限制性 (Limiting) 而在。未達此程度以前，兩兩進行程途中，氣溫或土壤中可給之濕氣，即早變為限制性矣。

F. 鬱閉下之陽光，雖改變光性；若光強甚高，則

光性改變作用及於下木光合之影響極微。而支配下木光合作用之唯一動力，乃歸於能力價值 (Energy value) 之變動。

G. 鬱閉程度，隨時隨地，疏密不一；因之，在各種鬱閉程度之林內，各適於特殊樹種之萌發，生存，及發育。至於何樹種適生於何種鬱閉以下，不惟視各該樹種在「最小限需光程度時」吸收光量多寡，及各下木間與陽光正變之「光合作用速度」大小；尤須視上木，——即組成鬱閉之林木——已否變動其他物理因子而決定。即如陽光愈強，光合作用之反應愈大；待氣溫及土壤之濕氣發生變化時，則光合反應之等級亦受其影響。較陽光更重要，支配炭化物造成之因子為——；——

土壤之濕氣，氣溫，大氣中 $\text{CO}_2$ 之含有量及植物體本身之解剖的構造；彼等決定：——

立地環境，是否已達「光合勢力 (Photosynthetic activity) 與光強為正變」，之程度？

11. 鬱閉林內達到下木——次植生 (Subordinate Vegetation) ——之光強，在最寬之高低兩限界以內，差異極大繼已行間伐之森林 (Thinned stand)，猶阻斷大部分之陽光，不得透入林冠；即如，山毛櫸 (英名 Beech

學名 *Fagus sylvatica*, L.) 林，儘可阻斷全光強之 80% 至 90%；唐檜（英名 Fir 學名 *Picea excelsa*, Link）林，及松類（英名 Pine 學名 *Pinus*）林，儘可阻斷全光強之 60% 至 80%；極強鬱閉毫未間伐之森林，儘可阻斷全光強之 98% 至 99%。

I. 若鬱閉林下之光強甚低，且其他之立地因子為「非限制性」時，則通各樹種光合作用速度，幾盡與光強為正比。但在較高光強，則各種間，「光合速度」差異甚大。由此繼續增加光強，而達於極高時，光合作用之速度，反有減少趨勢，——尤以所謂「陰性植物」（Shade plant）為然，——至少一部分原因，係由氣孔（Stomata）閉合，CO<sub>2</sub>效用減低所致。

J. 鬱閉林下之光強，雖如何漸減，若其他因子為非限性時，則決不至於低至妨碍下木——次植生（Subordinate vegetation）——萌發（Germination）生存（Survival）之程度。又影響「光合活動」（Photosynthetic Activity）之其他因子，若為最惡時，則光強遞增程途中，即可選由光強，決定各樹種「炭同化作用」（Carbon assimilation）之速度。

K. 自然狀況下，森林植生，永沐於晝明夜暗交迭



之中；但晝夜相互之時刻，隨緯度及季節而異。逐日浴光時刻之長度，遂深刻的影響生長速度及『正常植生』(Normal vegetation) 生長，開花，結實，所需期間之久暫。

L. 因天然鬱閉林內，林冠之空隙重重；故任何點之光強，瞬息變動無已；變動之範圍，又極寬。此林冠內變動性之光強，在疏鬱閉森林，較在強鬱閉森林，更利於蔭植物(Plant on the forest floor)之發育。

#### 16. 林木耐陰性

TOLERANCE

DIE TOLERANZ

林木耐陰性，一般人解釋為：——  
樹木忍受遮陰之能力（注1）。置樹木於人工遮陰之下——即如厚簿不等之布罩——任其發育，則達到該樹木之光強光性，必使樹木現出一定之反應。若置該樹於天然鬱閉之下，縱令其投射之光強光性，與人工遮陰下者相等，而樹體所現之反應，完全與人工遮陰下所現之反應大不相同。因天然鬱閉之下，組成鬱閉之林木，不惟支配達到下木之陽光，且由根之『生域競爭』(Root competition for growing spaces)，彼等及於其他因子之

影響甚深。——其他因子，如：——

可用的土壤中之濕氣及氣溫等，因鬱閉度增加，透過之陽光反隨之減低；減至某點，光合活動，遂不抵由呼吸作用所失能力之量；然在增減兩兩進行程途中，未達此限界點以前，其他數種立地因子，早已變為限制性。一切高燥地之森林，缺乏結實力及不見有下木發生者，畢竟非由光強減低，達於「光線變為限制性」之程度所致，乃主由於其他各因子——如土壤中可用的濕氣——本身減低所致也。因鬱閉十分濃密，以至陽光變為限制性之現象，僅於「可用的土壤內濕氣，或光綫以外之其他因子，均屬非限制性」之立地為然。在美洲太平洋西北沿岸之森林中，年降水量在五百公分或五百公分(500Cm)以上，可用之土壤內濕氣亦非限制性，雖某部分之鬱閉，已達阻斷全光強98%至99%之程度，猶不碍下木之繁榮。然由此稍向東，年降水量為七十六公分(Cm)或在七十六公分以下，雖僅阻斷全光強60%之疏林相，已妨碍下木之發育。此無他，土壤內有效的濕氣，已變為限制性故也。

注(1) Forest Terminology, Jour. Eor., 15:68-101, 1917.

(16-II) 在美國東北隅New-England地方，已達強鬱閉之

白松林(英名 white pine 學名 Pinus Strobus L.) (注2)，及其他松林中，已不見下木之存在；然經人爲的阻止「根間競爭」，已由林下發生豐富繁茂之下木矣。人工阻止根間競爭之方法，係：——

在強鬱閉之白松林內，介於相隣數株上木間，將林地割成「方畦」(Quadrat)，沿畦之四邊各掘深溝，至可切斷上木之側根爲度；此處原無下木，但設畦之後，凡被切開之處，「根間競爭」，遂被隔斷，不久遂發生豐富之下木(注3)。據考察結果，在生長季節內一段有限時期內，林地已切開部分之「可用的土壤中濕氣量」，爲未切開部分土壤濕氣量之二倍至九倍。由上述之切開試驗，可知林蔭缺乏某數種下木，或有之而發育不旺者，乃由於達鬱閉之林木，對於土壤中濕氣或其他因子發生影響；而光強光性尙屬次要也。縱以耐陰性，純然屬於陽光之關係，亦不能用「林木結實力生長量」所代表之「關係的繁榮相」(Relative Vigor) 或「各種鬱閉內下木發育狀況」計算之。因繁榮相繫乎立地之物理的生物的因子之全部，不能僅由陽光一端決定也。(注4)雖各物理因子中，顯然受鬱閉之支配，無出陽光之右者，然不得以其他因子，變

動不顯，遂棄置不顧。若僅以林內貧弱之樹苗，或其他草本次植生 (Herbaceous vegetation on forest floor) ，必與透過林冠投射林蔭之陽光相伴為歸宿，則吾人對於「投射林分陽光」之功用，尚不能獲得透澈的了解。Fricke 氏 (注5) 察出林蔭植物貧弱情形，有時歸因於「根間之競爭」，殊較缺乏光線為恰當。Toumea 氏確認：——

楊樺 (英名 Grey birch 學名 *Betula populifolia* Marshall.) 強鬱閉林內，白松 (學名 *Pinus glabra* Wall.) 下木，幾乎完全停止生長，決非光線缺乏所致。(注6)

注(2) 白松；white pine 為英美兩國方言，同名異種甚多，只由學名區別之。如：*Pinus glabra*, Wall. 生於北美洲之東南部；*Pinus Lambertiana*, Dougl. 生於美國西部 California 省；*Pinus monticola*, Don 生於北美洲西部，*Pinus sabiniana*, Dougl. 生於加省。Pinus *strobus* L. 生於英國東北 New England 省其方言皆為 White Pine. 。

注(3) Toumey, J. W., The Vegetation on forest floor... light versus soil moisture. Proc Fth Inter. Cong. Plant Sciences 1928.

注(4) Burns, N. P., Studies in tolerance of New England forest trees, Ver. Agr. Exp. Sta. Bull, 193, 1916.

注(5) Fricke, K., "Licht und Schattenholzarten," ein

wissenschaftlich nicht begründetes Dogma Centralblatt  
f. d. gesamte Forstwesen, s. 315 325, 1904,

注(6) Tommey, J. W., The relation of grey birch to the  
regeneration of white pine. Jour. For. 17;15-20, 1919

(16-III) 下列兩圖(第二圖及第三圖), 描寫「天然鬱閉林更新」及「林內次植生」之形式, 且表明人工切開林地, 隔離「根間競爭」後之功效。第二圖表示美國東北部New England省, 尋常高燥地之森林, ——由疏鬱閉至強鬱閉——林木更新及其他次植生發育之狀。(A)點表示極鬱閉之林分, 根部遂發生競爭, 阻礙次植生之發育。而此林分, 係由「單級之主林木」(Single superior layer)所組成。(B)點表示, 根間競爭度, 較(A)點稍弱之林緣(Margin of Stand), 其結果已發生次植生。然愈接進上木根際, 則次植生之數愈少, 且生活愈不旺。(C)點表示林隙, 根間競爭完全阻斷, 下木及次植生發生極富, 生活亦極旺。(D)點表示與(A)相似林分之一部; 惟主林木之半數, 已由「擇伐」(Shelterwood cutting)除去, 遂減低根部競爭強度; 結果, 下木及其他次植生, 已開始發生。間伐(Cutting Operation)愈強, 根間競爭愈減, 因之, 次植生亦愈豐富繁榮。

( 16-IV ) 第二圖解，即表示與此同理之，更新及次植生，在天然鬱閉林內發育，狀況。第三圖解更表示根間競爭，已由人工隔斷情形。第三圖E 點表示相隣主林木之側根已被切斷，不致再侵入旁側土壤之內；雖與第二圖B 點，受同樣陽光，但主林木樹冠下已可更新，且發生次植生，是即除去根間競爭之效果也。左側之E 點，表示完全鬱閉林分內，方哇已行定期的切開，完全脫離根間競爭之狀況；未切開以前，雖不能更新，且毫無次植生，但切開以後，不久即發生新林及其他之次植生。F 點及 G 點，仍與第二圖之理由同，因尚未切開，故幼林及次植生仍少；即有之亦衰弱不旺，主由根間競爭所致。

( 16-v ) Aaltonen 氏 ( 注一 ) 最近在芬蘭 ( Finland ) 研究之結果，與上述情形一致。氏推定同種林木各株間，概有一定之株距；而此株距，更視樹種與土壤之性質為轉移；同氏發表天然鬱閉林下，各幼樹之高度及距母株 ( Mother tree ) 之遠近，彼此間——即此幼樹與他株幼樹間——概有一定之關係。立地瘠惡時，接近母株之處，幼樹極少；偶爾發生，亦呈矮小貧弱之狀；此等情形，縱令在極疏鬱閉之下，或行間伐之後，亦然

；可見鬱閉林內，不見幼樹發生者，畢竟非僅由光線過低所致。反之，設立地優良，則施行間伐以後，不惟林隙發生極多之幼樹，即在老樹冠庇蔭之下，亦不礙幼樹之發育；由此觀之，係因土壤中之濕氣為非限制性所使然也。一般隨土壤之「形式」( Soil type )，各林分之立地內，各有一定之「株距」 space 及「株間排列法」 svangement：立地愈次——即土壤性質愈惡——各株間之距離亦須遠——即根域愈須大。Haltonen 氏發表：——此事顯然非光照之關係。至於林內株距及其種樹之排列法，主由該樹種之「根序」及「根間之水濕養分競爭」決定之。

注(1) Haltonen, V. T., On the space arrangement of trees and rootcompetition. Jour. For., 24, 627-644, 1926.

17. 耐陰性之界說 ( Definition of Tolerance ) 。

——經過以前討論，則：

- A. 耐陰性不可解作「某樹種耐庇陰能力之大小」，亦不可認為「某樹需光量之多寡」，如前此指：「鬱閉至何程度，其林下遂適於某樹種之殘存是也。天然鬱閉下，某樹種可生存之原因，完全由於各立地因子複合影響所致，陽光不過為此各因子之一，且屬於次要之位置。
- B. 耐陰性，縱可解作各級天然鬱閉內某樹種猶可殘存生長發育之能力；但須認清其中之光線關係，僅居一部分。
- C. 若就鬱閉下殘存力，測度耐陰性，則同一樹種或同一變種之耐陰性，變動極大；不僅隨氣候緯度為變化，且視土壤中濕氣，土壤之溫度，土壤中之養分及其他因子，顯著變異；光線不過為其他各因子之一耳。

( 17-ii ) 在美國，尋常皆知栗樹 ( 英名 Chest-nut 學名 *Castanea pumila*, Michx. ) —— 此種產於美國東部 ) 產於美國東南部之 North Carolina 省，及 Virginia 省者，較產於美國東北部 New England 省者，耐較強之



鬱閉。在我國北方植栗之純林於濕潤山原，然在淮水流域，天然之栗林，則與橡等林木天然混交 Wiesner 氏（注一）發現；一掌狀槭（英名 Norway maple 學名 *Acer platanoides*, L. —— 歐洲中部及北部種）生於天然鬱閉林下時，則其所需「化學光強之最小限」（Minimum Chemical light intensity），隨地方而不一致。即：——

- a. 在奧國之 Vienna 地方，天然林下，槭樹最小限化學光強，為全日光之 $1/5$ 。
- b. 在挪威之 Hamar 地方，天然林下，槭樹最小限化學光強，為全日光之 $1/37$ 。
- c. 在挪威之 Trosno 地方，天然林下，槭樹最小限光學光強，為全日光之 $1/5$ 。

一般人以為同種林木，生於寒冷緯度者，沐光之時間必較長，如此始放其光合作用之需，然此觀念錯誤；何則？凡生於低溫地方之樹種，正因其需要特量之熱，故沐光較長，初非光強大小，對於光合作用之關係也。大抵由空氣溫度所失之溫熱，須由輻射補充之；根據此理，北方樹體，曝於日光之期間應較長。

注(1) Wiesner, J., Der Lichtgenuss der Pflanzen. Leipzig

(17-iii) 土壤內有效的濕氣，對於樹種間之需光量，有極明顯的影響；此種影響，較實際更為顯著；故，當『下木』(Hndergrowth) 似因陽光缺乏，發育不良時，得由增加水分以補充之。惟此貧弱狀況，多由土壤中缺乏濕氣所引起；與其謂為陽光不足所致，毋寧歸因於「根之水分競爭」為恰當也。

(17-iv) 高齡林下，更新力衰弱，亦由根間水分競爭及其他各因子所致，決非上木庇蔭之影響。所謂受光 (Light increment) 伐者，——疏伐以後生長量增加——其名稱似乎恰當，但決不可以為疏伐作用，使殘存木或下木多得陽光，遂促進其生長，主由於疏伐之後，根間水分競爭減低，及其他物理因子優變 (favorable changes) 所致。

(17-v) 如此，將土壤之濕氣，計入『土地肥沃度』 (Soil fertility) 中，則土地肥沃度及於需光量之影響，較實際尤為顯著。若鬱閉林內下木生長貧弱，一經增加土壤肥沃度，而生長狀況忽然改善時，則此貧弱狀況，必係由土壤中養分不足所致，決非陽光不足之咎。Hartig 氏 (注1) 發表：—

光強及土壤中有效濕氣不變時，同化能力與土壤中

有效養分爲正變：換言之，養分愈增，「同化能」(Assimilative energy) 亦愈增。故生於瘠惡地，全光強下之樹木，與生於良好地不完全光強下之樹木，有同等的同化力 (Assimilative capacity)。因孤立木較林木之開花結實爲早，且發育亦較後者爲優，故多以爲開花結果等方性作用，較營養體生長需要較高之光強。向來以開放留存木之樹冠，使其多得陽光，爲天然林造林法內『下種伐』(Seedcutting) 之唯一理由：此乃因改善土壤狀況，供給有效食料於樹體，遂可促進開花結實之量，似與陽光關係極少也。

注(1) Hartig, R., Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Pflanzen, Berlin, 1891.

(17-vi) 加拿大西部 British Columbia 地方，森林內，年降水量爲 76 cm 或在 76 cm 以下，夏季常遭旱乾——特稱爲『八月旱』(August drouths)——唯『落葉地被』(litter) 之下面，有枯朽樹木，故魚林松 (英名 Spuce 學名 *Picea nigra*, Link.) 天然更新時，幼樹分布極廣，發育亦旺 (注1)；因此等朽木層，經兩季吸收多量之水分，經過乾季時，已蓄有水分，較無朽木層之立地，能堪長期之乾燥。

注(1) Barr, P. M., Factors controlling the reproduction of Spruce in British Columbia (Manuscript report) 1928.

(17-vii) 美國 New England 省之高地森林中，鐵杉之天然更新（鐵杉英名 hemlock 學名 *Psuga heterophylla*, Sarg），在接近母株幹底之周圍環狀地帶，及母株樹冠外緣投影環狀地帶，幼樹發生最多成長亦旺；距此兩帶愈遠，則更新力愈弱。此係土壤內有效水分含有量，顯然差異所致。因雨水之大部分，沿大枝及樹幹流下，浸入圍繞樹幹之土壤；其他部分之雨水，沿枝端滴下，浸入樹冠外緣。以下之土壤，介於此兩地帶間之面積，又樹冠外圍之地帶，承受雨水均極少。此等降水分布不均情形，實為更新分布區域及幼樹繁榮不均之唯一理由。

18. 耐陰性之等級 (Scales of Tolerance) ——就美國地方情形，重要林木之一般耐陰性等級，已由 Zon 氏及 Graves 氏（注2）及其他學者規定。在我國亦經賈成章氏，試驗北京附近林木，歷五年結果，考知各樹種之耐陰性。惟同一樹種，其耐陰性，隨氣候土壤而變動極大。故耐陰性之等級，應用上價值極小。即如美洲沙糖槭（英名 Sugar maple 學名 *Acer saccharum*, Marshall.），

在其最適度環境，為極耐陰性，——特如在優良土壤為然。移至貧弱土壤及峻厲之氣候，則變為極小的耐陰性。

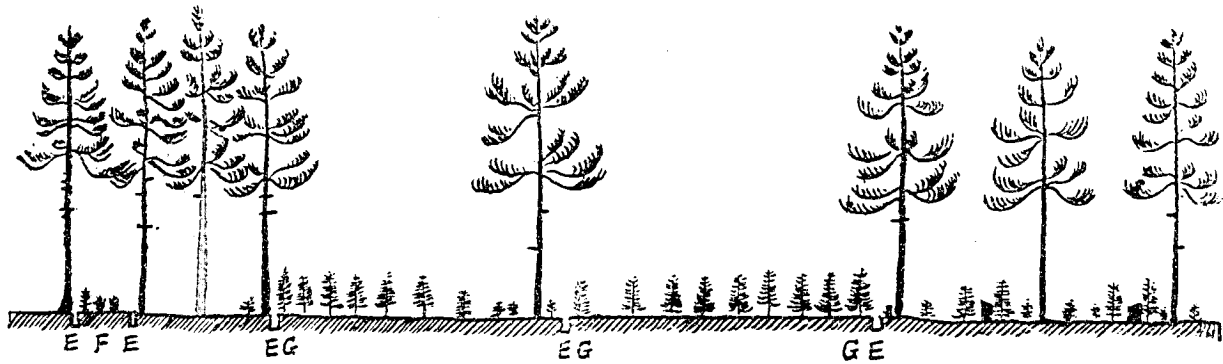
注(2) Zon, R., and Graves, H. S., Light in relation to tree growth, U. S. For. Ser. Bull, 92, 1911

(18-II) 按照鬱閉林下可以生存，繁榮，生長為標準，分耐陰性為五級：其範圍由極耐陰性至極不耐陰性：順次為 (1) 極耐陰性 (Very tolerant) (2) 耐陰性 (tolerant) (3) 中間性 (intermediate) (4) 不耐陰性 (Intolerant) (5) 極不耐陰性 (very intolerant)

(18iii) 限於某一地方的分級，較普通耐陰性分級，更為有用，且對於造林更為重要。下表為美國 South Connecticut 省重要經濟樹木耐陰性之地方的等級。

<p>I. 極耐陰性</p> <p><i>Tsuga canadensis</i></p> <p><i>Fagus grandifolia</i></p> <p><i>Carpinus caroliniana</i></p> <p><i>Ostrya virginiana.</i></p> <p><i>Cornus florida</i></p> <p><i>Acer saccharum</i></p>	<p>II. 耐陰性</p> <p><i>Thuja orientalis</i></p> <p><i>Ulmus americana</i></p> <p><i>Nyssa sylvatica.</i></p> <p><i>Tilia americana</i></p> <p><i>Acer rubrum.</i></p>
---	---

第三圖 插版位置



第三圖

切開土壤隔斷根間競爭後更新及次植生漸次發生之狀況  
(據 Toumey 氏)

III. 中間性

*Pinus strobus*  
*Juglans nigra*  
*Betula lenta*  
*Betula lutea*  
*Quercus bicolor*  
*Quercus borealis*  
*Quercus velutina*  
*Platanus occidentalis*

IV. 不耐陰性

*Castanea dentata*  
*Quercus coccinea*  
*Quercus alba*  
*Quercus montana*  
*Hicoria alba*  
*Hicoria ovata*  
*Juglans cinerea*  
*Liriodendro tulipifera*  
*prus serotina*  
*Fraxinus americana*

V. 極不耐陰性

*Juniperus virginiana*  
*Larix laricina*  
*Populus tremuloides*  
*Populus grandidentata*  
*Betula populifolia*  
*Robinia pseudoacacia*

(18-iv) 林學博士賈成章教授，於民國二十二年至民國二十五年，在北平大學農學院，就北京附近重要林木十三種，試驗其耐陰性，所得結果如次(注1)：—

(下表順次由極耐陰性，漸次至極不耐陰性)

- |         |   |
|---------|---|
| 1. 側柏   | <i>Thuja orientalis</i> ..... <u>極耐陰性</u>     |
| 2. 胡桃   | <i>Juglans regia</i>                          |
| 3. 柾柳   | <i>Pterocarya stenopera</i>                   |
| 4. 皂莢   | <i>Gleditschia sinensis</i>                   |
| 5. 櫻葉楓  | <i>Acer negunde</i>                           |
| 6. 槭    | <i>Acer pictum</i>                            |
| 7. 榆    | <i>Ulmus pumila</i>                           |
| 8. 槐    | <i>Sophora japonica</i>                       |
| 9. 刺槐   | <i>Robinia pseudoacacia</i>                   |
| 10. 馬尾松 | <i>Pinus sinensis</i>                         |
| 11. 白皮松 | <i>Pinus Bungeana</i>                         |
| 12. 梓   | <i>Catalpa ovata</i>                          |
| 13. 檜   | <i>Juniperus bhinensis</i> ..... <u>極不耐陰性</u> |

注(1) 賈成章：林木耐陰性之研究。

賈成章：中國北方主要林木耐陰性之研究。第二十六頁



第四章

氣候的因子（續）

THE CLIMATIC FACTORS (continued)

1. 水與樹木生命過程。

WATER AND VITAL PROCESSES IN TREES

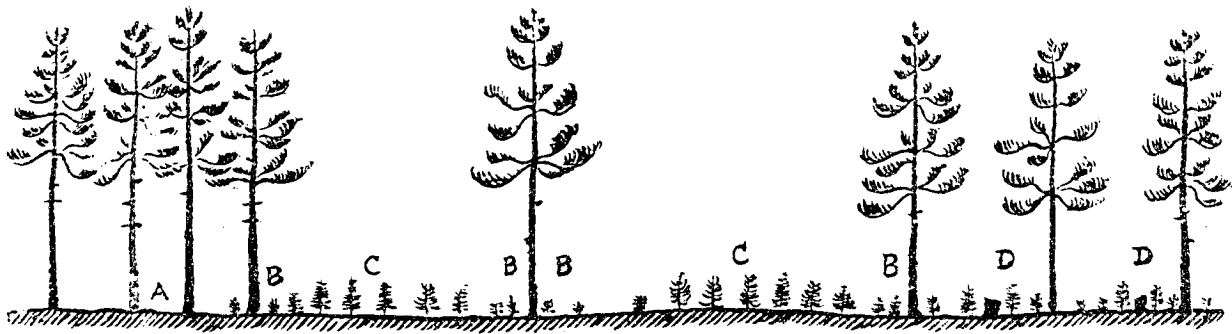
水分爲樹木生命過程之基礎。其對於樹木之要點如下：

1. 水分遍存於各原形質 (Protoplasm 英；Protoplasma 德) 及各細胞膜 (Cell walls 英；Zellwand 德) 之內，
2. 水分——如細胞液 (Cell sap 英；Zell saft 德)——之存於空胞 (Cell vacuoles 英；Zell Vacoulen 德) 者，爲植物體膨脹及生長之本源。
3. 植物直接吸收水分而同化之。
4. 水分誘起植物體對於物質之吸收作用 (Absorption)，滲透作用 (Osmosis 英；Osmose 德) 及移轉作用 (Transfer of substance 英；Stoffwanderung 德)。
5. 炭同化作用在瘦弱植物體內進行緩，在枯萎植物體內則停止。而水分使植物體膨脹，故其對於炭同化作用極爲重要。
6. 水分爲呼吸作用 (Respiration 英；Atmung 德) 所必需。若水分低減至某最小限以下，則呼吸作用停止。
7. 水分爲蒸發作用 (Transpiration) 所必需。

8. 因水分有膨大及刺戟之力，故為植物體所行種種運動之根源。

有效水分之存在量，決定樹木僅可生存力之大小。水分缺乏，固可使樹木枯死；然各樹種間及同株各部分間耐乾燥而猶能殘存之力則互不相等大氣及土壤內之水分，支配植物形態及構造。使森林植生如此深刻差別之原因，無出有效水分給量 (Supply of water) 之右者。水分由兩途接觸樹體：(1)大氣(2)土壤：空氣中之水分稱為大氣濕度 (Atmospheric humidity 英 Atmosphärische Feuchtigkeit 德) 土壤中之水分稱為含水量 (Water content 英 Wassergehalt 德) 或土壤濕度 (Soil moisture 英 Bodenfeuchtigkeit 德)；大氣濕度主司節制植物體內水分之消失；土壤濕度，主司植物體內水分之攝入。大氣濕度，猶如一種刺戟，支配植物之空中部分及地上部分；司同化作用之葉部，為苗 (Shoot 英 Spross 德) 之最富感應性部分。因大氣濕度直接影響土壤，——尤其是影響土壤濕度——故間接影響植物之地下部分。土壤濕度亦如一種刺戟，支配樹體之地下部分。新根，及根歧 (root ramification) 梢端附近，發生根毛 (root hair 英 Wurzelhaar 德) 之處，即係吸收器官，且為根之最富於感應性之部分。

第二圖 插版位置



第二圖

更新及次植生所受根部對於水濕養分競爭之影響  
(據 Toumey 氏)

2. 降 水。

PRECIPITATION.

DER NIEDERSCHLAG.

空氣冷至露點 (Dew point 英 Taupunkt 德) 或含水蒸氣量，達飽和 (Saturation 英 Sättigung 德)時，水蒸氣不能再維持氣體狀態，遂凝結為大氣降水 (Atmospheric precipitation) 三態之一而降落。——即 (1) 霧 (Mist 英 Nebel 德)，包含雲 (Cloud 英 Wolke 德)；(2) 雨 (Rain 英 Regen 德)，包含雪 (Snow 英 Schnee 德)，雹 (Hail 英 Hagel 德)，霰 (Sleet 英 Graupel 德)；(3) 露 (Dew 英 Tau 德)，包含樹冰 (Hoar-frost 英 Raureif 德)。因降水影響大氣濕度，及土壤濕度，故其對於森林植生極為重要

(2-ii) 尤其是土壤含水量之變動，可逕由降水變動決定之。除降水「增加土壤給水量」，以供森林植生吸收，及「增加大氣濕度，防止由通發消失水分」，等等基礎的有利影響外，更由降水及於林木本身及土壤機械的作用，直接影響森林之生長。此影響之大小，視暴雨 (Storm 英 Gewitter 德)時內之速度及降下量為轉移。

(2-iii) 為便於植物地上部分吸收降水起見，表面細胞膜

必爲可滲透性 (Permeable 英 durchdringlich 德) 且表皮細胞 (Epidermal cell 英 Epidermal Zelle 德) 必須含有滲透力之物質。進言之，務令雨水，不致急速由葉面流去也。許多簡單或低級植物，均由此法含蓄水分：如地衣 (Lichenes 英 Flechten 德) 及多數蘚苔植物 (Mosses 英 Moose 德) 是也。(注1) 但高等植物，另有特別之吸水構造，即如：具特別吸水組織之氣根 (Aerial-root 英 Luft-wurzel 德)，易於吸水之表皮毛茸 (Epidermal hairs) 是也。(注2) 惟一般木本植物，鮮由地上部分，直接吸收降水者：由根吸水乃樹木生活之常軌也。多數植物，概適於年中某期間之一定平均降水量：此定數之平均降水量，隨樹種而異。生於極濕區域之樹種，似有撤去雨水之組織：如葉面被蠟質，或散布霜粉，皆使其不滯水者也。

注 (1) Coulter, J.M., Barnes, C.R., and Cowles H.C., A textbook of botany, 2: 610, 1911.

注 (2) Warming, E., OEcology of plants (English translation), P. 31. Oxford 1909.

(2-iv) 霧 (包含雲) 吸收光線，且令土壤受熱遲緩。對此，尙無一定之保護法。彼寒冷海濱之不毛地，及貧弱植生，多爲連續落霧之結果。旱乾 (Aridity 英 Durre Tro-

ckheit 德) 減縮植生發育期間，且促早花早熟。不拘氣溫如何，植物年中之休止期，概由旱乾所促成。某數種林木及植物，於乾期落葉，雨期發生新葉，以抗定期之乾燥。由美國 South Arizona 省某數種林木，證明此事為真；東印度樹木落葉之要因，亦由於此。

(2-v) 因各地降水分布不齊，故森林分布，顯然受其影響。若年降水量相等，則森林之形質，隨：『(1) 降雨在樹木之生長期內抑在其休止期內？(2) 降雨平均分配於全年抑僅限於年中某幾個月？』為轉移。

(2-vi) 美國 Wyoming 省之 Laramie Plains，——在此省之南方——及其以西相似之地帶，阻礙森林發育最烈者，為冬季缺乏覆雪 (Snow blanket)；結果，高寒烈風，吹乾表土，幼樹或死或傷。北方冬季落雪之處，較缺雪之處，樹木耐寒力為大。

(2-vii) 一般，降雪量及降雪被覆土壤之期間，影響森林植生者甚大。雪層之厚薄，深刻的支配土壤之濕度。初冬所降厚雪層，始而保護地面，免於凍結，繼而春暖融解，水分遂滲入土壤。又因降雪，促土壤柔軟疏鬆，故雪層下之幼苗，雖在冬季，猶能行生活作用；根部繼續伸入土壤，吸取水分，以供冬季之通發。植物經冬而

死之現象，多由土壤凍結所致；因土壤凍結，則水分不能為根所吸收；其間偶爾溫暖，乾燥之冬風，吹散植物在地上部分之水濕。故凡冬季寒冷而不降雪之地方，天然必無森林，是可注意者也。冬季土壤凍結與融解交迭而又缺乏覆雪之地方，幼苗遂被『扛起』(Heaving 英 Hebung 德)根部與土壤之間生空隙，根際扛出地面，結果非死則重傷。

(2-viii) 降雪大致雖利於森林，然在特殊情形時，亦可妨害更新及幼苗。雪堆固結成冰，來春融解緩慢，幼樹及其他植生，易被其『悶死』(Smothered 英 Erstickung 德)。

### 3. 樹木對於降水機械危害之抵抗

The Resistance offered by Trees to Mechanical Injury from Precipitation. 各樹種對於降水所生種種危害，之抵抗力，在許多地方，完全認為「可於植樹或播種造林時由選種法」解決之。進一步言，降水對於土壤之機械危害，既如上述之重要，故經營森林時，即應依據此點，決定應採何種造林法。暴雨或強雨，雖直接損壞寬大之薄葉；然其最主要之危害，側重雨對於土壤之機械作用；其結果浸蝕 (Eroding 英 Zerfressung 德) 滌蕩『落葉

地被』(Litter 英 Bodenstreu 德)『腐植質』(Humus)，曝露裸斜面上之礦物質土壤，‘損傷苗木 (Seedlings 英 Sämling; Pflanzchen 德) 及『播種苗床』(Seedbeds 英 Keimbett 德)，沖去幼樹。

(3-ii) 年中雨量不足之區域，其土壤及植生，反受降雨機械的危害。何則？年中降水量之大部分，集中於幾次暴雨一時大量激降，釀成機械的危害；一方植物生長全期，必感降水缺乏之患也。美國東部，年降水量分布均勻且降下如綏，暴雨僅屬例外；西部則否，暴雨以爲常，殊有注意其危害影響之必要。降水及於森林之直接作用，既如上文所述；故爲抵抗降雨機械危害，儘吾人智慧所及之較善方法，可選「具厚小葉面之樹種」以預防之。然此暴雨常見之區域，對於土壤之浸蝕，設無其他之防護法——指野溪工事——則對於維持全部森林發育起見之更善方法，終不能施行也。森林減低「雨水衝擊土壤之速度」，且延緩「其到達地面之時間」。林蔭較小之植生，落葉地被層，蘚苔層，腐植質層，均可防止雨水奔騰；結果，遂減少其浸蝕作用。一般，伐採險峻山邊之林木，宜徐徐爲之；如此，則高齡林未伐盡以前，新林早已發生矣。在傾斜裸地或易被浸蝕之立地播種或植



樹時，須特別設法保持其土壤及防「雨水洗去種子苗木」之患。播種於無保護設備之傾斜地，播溝須沿『等高線』(Contour line 英 Höhenschichtlinie 德) 方向，決不可上下縱行。若在斜面設『播種苗圃』(Seed-bed 英 Satkamp 德)，床之面積宜小；且由梯田法，使其水平。沿等高線方向設列溝，亦可防雨水之浸蝕；上下相隣之溝，彼此用縱溝貫通，可免雨水奔騰之患；橫溝深由五寸至一尺；上下相隣兩溝之間隔為一丈二尺至三丈五尺；縱溝較比稍淺，且設於各層相互之位置；如此，不但可防雨水之患，且令表面雨水滲入地中，兼收防旱之效。

#### 4. 雪及於森林發育之機械作用。

##### The Mechanical Action of Snow on Forest Growth

在極多之山區，雪及於樹木之機械作用，較雨為尤甚。然此時對於土壤之影響則極少；雪向來在平地，擔任被覆土壤之重要作用，因而保護幼樹，免遭不良氣候之害，保護土壤，免其過度凍結，不致被冬季寒風吹乾；然此等作用在山地，則顯然有程度之差。(注 1) 不論個樹或森林，對於雪之機械作用，所發之抵抗力，視以下情形而極不一致；即：雪之為害程度，隨：(1) 樹種，(2) 林齡，(3) 鬱閉度而異；反之，森林或樹木所發之抵

抗力，亦隨此三種條件爲反變也。許多地方，雪害極烈，殊有考慮以下各事之必要：(1)人工更新慎選樹種，(2)經營林分，慎選造林法。

注—(1) Taericke, A. J., and Foister, M. J., The influence of a western yellow pine forest on the accumulation and melting of snow. U. S. weather Bureau, Monthly weather Review, PP.115—26, 1915.

(4-i) 高山區域之『頽雪』(Avalanche 英·法 Lawine 德)，毀滅森林甚烈，尤其是『地面頽雪』Ground Avalanche 英 Grundlawine 德)及『上層頽雪』(Top Avalanche 英 Oberlawine 德)。地面頽雪，爲險峻地方之雪原由上層之雪衣脫落，漸漸沿斜面滾下，達到較低之平地地方；上層頽雪，爲雪原沿古代凍結之雪層面，滑落者。

(4-iii) 『雪折』(Snowbreak 英 Schneebruch 德)由『雪重』超過樹木抵抗抗力而起。被折之莖幹，已超過其『彈性限界』(Limit of perfect Elasticity 英 Elastizitätsgrenze 德)，不能恢復原來位置。針葉樹冠，在冬季猶有極大之球面積，承受多量積雪，故較落葉樹易遭雪折之害，然闊葉樹究不能完全免雪折之害。『同齡林』(Evenaged

stand 英 Gleichalteriger Bestand 德) 及『單純林』(Pure forest 英 Reine Bestand 德)，對於雪折之抵抗力小；因此，天然林(Natural forest 英 Naturwald 德——包括原生林(Virginforest 英 Urwald 德)——較由植樹或播種所成之『人工林』(Artificial formation of woods 英 Kunstliche Bestandesbegründung 德) 受害輕；林內樹冠愈不整齊，樹冠高度愈不相等，則留雪量愈少，受害遂亦淺。

#### 5. 霰或樹冰機械作用及於森林發育之危害。

The Mechanical Action of Sleet or Rime on Forest Growth.

霰或樹冰(注1)，雖不常見，且限於氣象極不規則之空間變化，然發生較雪尤甚的機械作用，以影響森林植生。此危害在山之東北兩側最烈，為患之程度，視樹種而異。故在有霜區域造林，不可選易罹此害之樹種——即：細幹，重冠，枝多而脆弱，及富於冬眠葉之樹種，皆易罹霰或樹冰之危害；櫻葉楓(Box-elder 英 Acer negundo, L 拉丁)，楊樺(Grey-Birch 英 Betula populifolia, Marshall 拉丁)，砂糖槭(Silver Maple 英 Acer saccharinum, Wang. 拉丁)，栗(Chestnut 英 Castanea sativa, Gaertn. 拉丁)，為美國東部易遭霰害之樹種。榆類(Elm 英

Ulmus 拉丁)，朴樹(Hackberry 英Celtis occidentalis, L. 拉丁)白樅(Hemlock 英 Abies amabilis, Forbes. 拉丁)，真刺槐(Hickory 英 Acacia 拉丁)等，反抗被害之力強。

注(1) 樹冰或稱冰霜：嚴寒或高山地方，霧或水蒸氣之細微水滴，觸於寒冷之樹體，遂凝結之謂也；懸於樹枝，經日光照射，呈光輝之美觀——北村義重，林業語彙。民國十七年之冬，河南雞公山一帶，空氣驟冷，打破歷年暖冬紀錄，其地山巒霧障，是時遂結冰於松枝，形如冰根，卽是此物。——民國二十七年七月，譯者。

## 6 大氣濕度。

### ATMOSPHERIC HUMIDITY.

大氣濕度，雖僅爲生物間接要素，若就其與氣溫及風速關係言之，卽爲測度蒸發量之正常標準，亦卽「通發作用時水分消失率之反標準」也。

(6 ii) 及於樹木生活影響，最明顯之因子，殆無出水分之右者。吾人可踪其路途，逐步察出，水分由根吸入，以迄由苗端排出情形。大氣濕度之刺戟，主作用於苗梢，而土壤含水量之刺戟，主作用於根端；二者集合

工作，以決定各立地之植生；且實際上二者為同功之異體。(注1) 各種植生吸水之情形不一致，故其形態及構造，顯生差異；然此不能僅歸因於濕度或含水量中之任一側，乃二者共同之結果。故「在乾燥大氣中，而吸收量稍豐，」與「在濕潤大氣中，而吸收量較少，」促成相同之變異。惟不拘在此二者任何之一側，生長率與通發率無關。

注(1) Clements, F.E., Research methods in ecology.  
Lincoln, Neb, 1905.

(6-iii) 美國 South California 省海岸山嶺西側，有較濕的大氣且常發生重霧，而森林繁茂。再向內地，則大氣較乾，僅於「供吸收之含水量」更加多時，始有與海濱同樣之繁榮；此乃由於大氣濕度已減低之故耳。某樹種吸收作用所需之含水量，一視通發作用排出之水量為正變；大氣濕度愈高，蒸發愈少，則吸收作用所需之水分量亦愈少。

(6-iv) 從前學者，就立地基礎，解剖基礎，及生理的形質解訖生羣界。Kamerling氏(注2)亦曾研究，對於乾生羣界，成立純然生理的標準。因訖生羣界，含有植物體對於「環境複合」(Environmental complex)之反應，

故不能僅以環境派，解剖學，或生理學三者中之任一點解釋之。然前此曾由解剖學的推論，解釋其大部分。

注(2) Kamerling, Z., Welche Pflanzen sollen wir Xerophytenennen. *Flora* 106: 433—454, 1914.

(6-v) 水濕影響，既如此重大，生態學者，遂以水濕為標準，規定兩種趨向之植生：其一)與『生理的濕潤』(Physiological wetness 英 Physiologische Feuchtigkeit 德)一致，稱為『濕轉生植生』(Hygrophilous Vegetation)；其二)與『生理的乾燥』(Physiological dryness 英 Physiologische Trockenheit 德)一致，稱為『乾轉生植生』(Xerophylous Vegetation)；此兩式由許多中間等級植生，漸漸連絡之。(注3)(注4)

注(3) Schimper, A.F.W., Plant geography upon a physiological basis (English translation). Oxford, 1903.

注(4) 生理的乾燥濕潤，既與物理的乾燥濕潤不同則關於彼等之植生亦不同，由前者解釋之植生，均為轉換生羣界之分枝，已如上文所述；由後者解釋之植生，乃根本嗜生於乾燥或

濕潤之地方，各為乾生羣界及水生羣界之代表者，各稱為「乾生植物」(Xerophytes) 及「濕生植物」(Hydrophytes)。參考 Büsgen und Münch, Bau und Leben unserer Waldbäume (English Translation) p.2-p. 207, p. 302: 1931. 及河田杰——森林生態學講義187,188頁 昭和八年八月 增訂再版。 民國二十七年七月——譯者。

(6-vi) 生理的 = 乾燥，及 = 濕潤，與物理的 = 乾燥 (Physical dryness 英 Physikalische Trockenheit 德) 及 = 濕潤 (Physical wetness 英 Physikalische Feuchtigkeit 德) 不同。前者之乾燥濕潤，并非由環境內關係的水濕量所生之結果，乃係各種因子連合之結果；此因子之連合，一方使吸收減少，蒸發加多，是為生理的乾燥；地方使吸收加多，蒸發減少，是為生理的濕潤。

#### 7. 大氣濕度變異及於森林植生之影響。

The Effect of Variations in Atmospheric Humidity on Forest Vegetation.

大氣中常有肉眼不能見之氣體水濕。此水濕量，隨時不同，前後變異殊大；只可由其對於飽和之百分數觀

測之。大氣達於完全飽和，一部分水濕，遂藉降水而排出。達飽和狀態以前，大氣究能含蓄若干之水分，以致凝結？則隨氣溫為轉移。寒冷空氣，決不如溫暖空氣吸收氣體水分之多；因之，一日中各時刻，及一年中各季節之含水量變異甚大。

(7-i) 此儘量能含蓄之水分，仍非支配樹木生活水汽之真值，不過為空氣達飽和所需之水蒸汽量也。由大氣中之水分，決定「絕對濕度」(Absolute humidity 英 Absolute Feuchtigkeit 德)；換言之，即絕對濕度，為用重量表示「一定容積空氣中，所含水蒸汽之真值」也。補足此絕對濕度，使空氣達於飽和，以迄其凝結之水蒸汽量，稱為「飽和補量」(Saturation-deficit)，亦即關係濕度 (Relative humidity 英 Relative Feuchtigkeit 德) 之指標。氣溫下降，只能增加關係濕度，不能提高絕對濕度；氣溫上昇，減少關係濕度。飽和補量，決定「空氣由地表，水面，及植生吸收水分」之速度；且由飽和補量，闡明「何為一般人所稱之天旱 (Dryness of air)，結果，此補量遂為氣候「蒸發能」(Evaporation energy 英 Verdunstungsenergie 德) 最重要指標之一。因通發大致受關係濕度之支配，而晝間氣溫高，因之關係濕度小，



故較夜間通發盛。[唯通發亦受日照之影響]。大氣濕度高，且常落霧之區域，其葉面凝集之水濕必多。更由葉面滴落，增於土壤之給水量（Water supply）。此等區域之植物，其表皮之角皮組織（Cuticular tissue 英 Kutikula Gewebe 德）必薄；反之，大氣濕度低，則角皮組織必厚，且於角皮通發系，成立一種調節失去量之重要關係焉。

(7-ii) 土壤含水量適當時，則其區域內，維持森林發育之空氣，決不至過及乾燥。縱令其地方空氣乾燥，若由人工灌溉（Irrigation）供給水分於土壤，則一種或多種之林木，仍可繁榮。供給予土壤之水分，縱十分充足，各樹種對於乾燥空氣之抵抗力，決不相等。故通發面積擴大，角皮組織甚薄，及其他項濕轉生構造（Hygrophilous Structure）之樹種，若植於沙漠地方，縱由人工灌溉，亦必失敗。因根部不能源源供給水濕之充量「彌散系」（Translocation current），以敵由通發所失之水分也。

注(1) 彌散即物質或水分經根吸入後，彌散於植物體之各部。

(7-iii) 林木繁榮所要之濕度，隨樹種而差異極大；

故美國松 (Douglas Fir 英 *Pseudotsuga Douglasii*, Carr, 拉丁), 美洲杉松 (Red Cedar 英 *Jeniperus Virginiana*, L. 拉丁), 美國毛白楊 (Cottonwood 英 *Populus monilifera*, Ait 拉丁), 似乎在極寬範之濕度限界以內之任何等級, 皆可繁榮。至於希榿 (Redwood 英 *Sequoia Sempervirens*, Endl. 拉丁) 之分布區域, 似僅限於美國西邊 Oregon 省及 California 省海濱地帶, 以多霧致大氣有高級濕度為其習性。一般多數林木, 似在濕潤或適潤之大氣內, 發育最優。

(7-iv) 在乾燥區域, 半乾燥區域, 或低級大氣濕度區域, 播種或植樹, 須選用「抵抗通發消失水分」構造完全之樹種。其地方土壤之含水總量雖有限, 若多霧致關係濕度恆高, 則多數樹種, 猶可完全生長。反之, 若年降水量僅達50公分, (cm), 或 50 公分以上, 除「美國 Arizona 省南部空氣極端乾燥地帶之乾轉生型 (Xerophilous type)」外, 殆不能成立森林。

氣候因子——水濕論終

8. 風。

WIND.

常風之影響，波及樹形，及種之分布。其直接影響，係由風之機械作用；又因其接觸大氣濕度，土壤濕度，與蒸發，通發循環，使之發生變化，故又間接影響樹木。風對於「授粉」(Pollination 英 Bestäubung 德)及「種子分布」(Seed distribution 英 Die Verbreitung des Samens 德)影響亦甚深。又為決定降水分布之主要因子；因之，間接支配森林植生。

9. 風及於森林植生之直接作用。

The Direct Action of Wind on Forest Vegetation

若風力強大，風向一定時，遂影響樹形，改變地方植物「景觀」(Landscape 英 Landschaft 德)。常風之林木，變形如下(注1)：—

1. 樹身低矮。
2. 樹幹向風下傾斜，樹枝亦向風下彎曲。
3. 枝短，枝序及著生方向極不規則。
4. 常風之側，枝多枯死；係由背風之側，發生少數新枝新葉。
5. 枝既向背風之側發達，樹冠之發育遂不平均。又因樹身背風傾斜，故樹冠背風側緊湊，向風側似發修剪之狀。

6. 全林亦背風傾斜。
7. 有時僅由向風側之根際或根部，發生新枝，以維持生命。  
全林迎風——即向風——之側，其樹木成矮小之叢林；由此林相漸疏，以至淪為孤立木或『團塊』狀(Cushion like)。
8. 常風林木之葉面，概較尋常樹葉為小，且帶慘褐色或慘淡紅色，林緣木尤甚。
9. 常風樹幹之橫斷面，受風之影響，發育遠不平均；與主風(Prevailing wind 英 Herrschender Wind; Hauptwind 德)方向平行之直徑最大。
10. 林內各株，樹高生長，限於一般林冠之高度。

風又為決定高山「樹木限界」(Timber—line, Tree—limit 英 Die Baumgrenze 德)之主要因子。

注(1)Warming, E., Ecology of Plants (English translation)

p. 37, 1909.

#### 10. 因風所致樹體內連續應力之效果。

The Effect of Continuous Stress Caused by Wind

樹體因受常風，所生之連續應力，增加木材機械組織。結果，更適於抵抗外界之機械的危害。習於有風區域之樹種，不僅具抗風強之外形，且更適於耐外力之變

形作用。幹枝多少背乎正常方向而發育。「草原」(Prairie) (注 1)，海岸，山地，常風強烈，機械的力量偉大；故欲輸入風力平穩立地之樹種於此等地方，須預先採抗風強之樹種，造「防風林」(文稱林衣) (Shelter-belt 英德 Schutzmantel ; Waidmantel 德)。

注 (2) Prairie 專指北美洲草原西至 Sierra Nevada 山東接 R. Mississippi 河濕潤低地，北至北緯 54 度，南至北回歸線，冬夏寒暑皆烈，年降雨量僅 50cm，不適於樹木之發育，故形成大草原 譯者造林學各論，P.112 民國二十六年版。

(10-ii) 被強烈常風衝擊之樹姿，表現開放地之特性。海濱樹木，受：(1) 常風襲擊，(2) 吹乾影響，(3) 挾帶砂雪之共同力量，故不僅樹幹背風側傾斜，且常風之枝枯死。略近於等高之林旁，有特高之樹時，其樹冠必背主風而傾斜。海標極高之開放山地，風力猛速，樹木概為低矮之灌木狀；樹冠上面平坦，且各樹高度一致，一似被人工修剪——截頂——者；亦有全身偃伏地上，僅頭部直立為樹冠之狀。海濱所生之大王松(Pitch pine 英Pinus palustris, Mill. 拉丁)亦然。

11. 風倒及風折

Windfall and Windbreak.

Windfall und Windbruch.

各環境區間，風速變化極大：由靜穩以至颶風（注 1）。即介於靜穩與颶風間之各級風速，在各環境區亦差異甚大。猝然之強風，拔根折木，稱為『風倒』及『風折』（注 2）。習於靜穩天氣之林木，猝遭此變，未有不受其機械力之患者。然島嶼，海岸，開曠高山原，及大草原等區域，向來風力高強，樹木已習為故常，遂適於抵抗其危害。距地面愈高，風行愈速，故森林較其他低矮植生，易遭風害。

注 (1) F. Beaufort 氏 (1805) 按風速分為次之十二級；

等級	名 稱	帆船每小時速度(英里)
0	靜穩 Calm	3.
1	Light air	8.
2	Light breeze	13.
3	Gentle breeze	18.
4	Moderate breeze	23.
5	Fresh breeze	28.

6	Strong breeze	34.
7	Moderate gale	40.
8	Fresh gale	48.
9	Strong gale	56.
10	Whole gale	65.
11	暴風 Storm	75.
12	颶風 Hurricanc (Tornado)	90.

Buchan: — Report on Atmospheric Gi  
rculation 1889

注 (2) Füst, H., The protection of woollands (Englir  
sh translation by Nisbet.) Edinbürgb. 1893.

(11-ii) 在歐洲山地，多就風倒危害，規定『伐採面積』(Location of cutting arja 英 Schlag 德)：為全林最終發育起見，一方伐採，他方顧及殘餘之樹木：即如，按各種林齡順次排列，庶伐採已成熟之林木時，殘餘林木，不致因此受風倒之害。各種『更新伐』(Reproduoti oncutting 英 Verjungungshieb 德)中，應採某一種？概由風倒關係決定之。在許多地方，特殊之『伐採作業』(System of cutting 英 Schlagbetrieb 德)，究不能實行。故開放山腹之純樅類林 (Spruce 英 Abier 拉丁)，若

過度間伐 ( Thinning 英 Dwrchforstung 德 )，則殘餘立木，易被消滅：必不得已時，則用『皆伐作業』 ( Clear cutting System 英 Kahlschlagbetrieb 德 )。

(11-iii) 風倒最大之危險，係由下列情形引起：——

1. 林分設於強風之開放地者。——如當主風之山脊及山腹。高層山腹多為同齡林者，亦由風倒後之發育所致。
2. 林分設於『淺地』 ( Shallow Soil 英 Seichgrund 德 )，或『強粘土』 ( Clay Soil 英 Tonboder 德 ) 者。又凡根不能深入，獲得穩固立足之土壤，常遭風倒之患。開放地之土壤甚淺，增加風倒之患。
3. 林分設如沼澤地或其他之濕地者。因沼澤地之樹木：(1) 土壤柔軟，根部不能固定：(2) 『根系』 Root System 英 Wurzelsystem ; Wurzelwerk 德) 接近地表，故易被風吹倒。即尋常土壤，經過濕季，水分使土壤疏鬆，亦有風倒危害。
4. 林分設於『暴風』 ( Storm 英 Sturme ; Gewitter 德 或『颶風』 ( Tornado 英 Wiabelsturm 德 ) 罕見之區域者。
5. 林分由淺根性樹構成者。——如樅類 Spruce 英 Abies 拉丁 雲杉類 ( Fir 英 Picea 拉丁 ) 橡樹類 ( Oak 英 Querc



us 拉丁) 蠟果樹類 (Hickory 英 Carya 拉丁) 注 (1) 之根極淺是也。

注 (1) 蠟果樹 (Carya sinensis, Dode.) 見 Sargent, C. S, Plantae Wilsonianae p. 187 III, 1917.

6. 林分由針葉樹 (Coniferous trees 英 Nadelhoelzer 德) 構成者。多數針葉樹，通年常綠，且經過風季，有極大之迎風面——樹冠；莖幹細長而根淺，故易遭風倒之害。
7. 『鬱閉之林分』 (Dense stand 英 Bestandesschluss 德) 已經間伐者。因鬱閉之林木，幹細長，冠短小，根域狹，僅賴相隣之株，彼此互支持，以抗風害，故除採抗風強之樹種造林外，一經間伐，則罹風患。
8. 林分近於山峯，絕頂迎風之側者。
9. 林分雖在絕頂之風下側，但風力經過絕頂，樹冠恰在其下者。
10. 組成林分之樹木，為廣大球形或卵形之樹冠者。反之，具狹窄圓錐形之樹冠者，抗風強，如生於開曠高層山腹之針葉樹是也。

(11-iv) 其他之風害，為破壞樹幹及樹枝。強大暴風 (有颶風之性質者) 來襲，縱樹木屬於深根性，不易傾倒

亦必由下端折斷。然樹幹之建康者，殊不易於折斷；其因風折斷之處，必有斑病之點也。即如樹幹常因病害，致髓心部分腐朽，易遭風折之害。火災延燒樹木，有時未完全炭化，但全幹均被烘烤，雖存在亦不康健；又如曾被打擊採脂之松樹，復因附近引火製脂，熱力波及樹幹，一經強風，殆不免於挫折。樹幹全體，有因局部病害，致體質衰弱者，如紅橡 (Scarlez oak 英 *Quercus co*  
*ccifera*. L. 拉丁) 所罹銹病 (Canker 英 *Nectria ditissima* (Tul) 是也。樹冠亦有經冬季——國曆十二月一月二月間——暴風雪 (Ice—Storm 英) 而被摧殘者：即樹冠有積雪或凍結時，一經暴風，多自冠部折斷。

#### 12. 各樹種間之抗風強。

##### The Resisting Power of Different Species.

如上述，則各樹種間各植生型間，其抵抗風之機械危害力量，各不一致。美國 New England 省對風抵抗力最大之樹種，為；大王松，加拿大鐵杉 (Hemlock 英 *Tsuga canadensis*, Carr. 拉丁)，美洲柏 (Red Cedar 英 *Thuja gigantea*, Nutt. 拉丁) 等針葉樹；及柳類 (Willow 英 *Salix* 拉丁)，鵝耳櫪類 (Hornbeam 英 *Carpinus* 拉丁)，及赤楊類 (Adler Alnus 拉丁) 等闊葉樹。對風抵抗力

最小之樹種，爲：砂糖槭 (Silvermaple 英 Acer saccharinum, Wang 拉丁)，椴葉楓 (Box elder 英 Acer Negundo, L. 拉丁)，及樗類 (Ash 英 Fraxinus 拉丁)。對於風害之最主要防護法，爲天然或人爲的『柵圍』 (Barrier 英 Der Schlagbaum (防風林)，Die Schranke (木柵德))。

### 13. 風及於森林植生之間接影響。

#### The Indirect Effects of Wind on Forest Vegetation.

風及於森林植生間接影響，充其量。亦不過促進通發，以瀕於乾燥而已，樹木對此，亦有適應風乾之特質。風高期間，縱令空氣濕潤，適發量極盛。距地表愈遠，風速愈大；故植物體愈高大，保護亦愈困難。風之間接危害，既主於乾燥，故在：(1) 根之能力，因土壤寒冷而微弱時；(2) 由枝葉失去水分不能由吸收充量抵補時，則風乾爲害之度愈增加。葉部冒寒而死之現象，亦因乾季水分失去，不能再由土壤供給，兼受風乾所致。土壤風乾之結果，某樹種遂不適於其原來之立地：倘立地恢復其本來面目時，仍可生長。美國西部無林之半乾燥地，時時有風乾作用，不論由人工或天然方法造林，均感困難。一般樹木之生長量及全年之主伐收穫，

國立北京大學農學院森林立地學講義

附表一

中外長度折合表

標準制			華制(市尺)			華制(營造尺)			英制			
公分	公尺	公里	寸	尺	里	寸	尺	里	吋	呎	碼	哩
1			0.3			0.3725			0.3937	0.0328		
100	1		30	3.0		31.25	3.125		39.37	3.2809	1.0936	
	1000	1		3000	2		3125	1.7361		32809	10936	0.6214
3.333			1			10.417			1.3128			
33.33	0.3333		10	1		10.417	1.0417		13.1233	1.0936	0.3645	
	500	1/2=0.5		1500	1		1562.5	0.8681		16404	546.82	0.3107
3.2	0.032		0.96	0.096		1	0.1		1.2599	0.105		
32.00	0.320		9.6	0.96		10	1		12.599	1.0499	0.3499	
	576	0.576		1728	1.152		1800	1		1889.7	629.9	0.3578
2.54			0.762	0.0762		0.7934	0.0794		1	0.833		
30.48	0.3048		91.44	0.9144		0.9525			12	1	0.333	
91.44	0.9144		27.432	2.7432		285.75				3	1	
	1609.31	1609		4827.94	3218		5029	2.794		5280	1760	1

中外面積折合表

標準制				華制(市尺)			華制(營造尺)			英制			
方公尺	公畝	公頃	方公里	方尺	畝	方里	方尺	畝	方里	方呎	方碼	英畝	方里
1				9			9.7656			107.643	1.196		
100	1			900	0.15		976.56	0.628		10764.3	119.596	0.0297	
	100	1			15			16.276				2.17	0.0039
		100	1		1500	4		162.26	3.014			24.71	0.3861
0.111				1			10.837			1.196	0.133		
6.663	6.666	0.666	0.006	6000			6510	1.085		7176	798	0.1644	
250000	2500	25	0.25	225000	375	1	406.9	0.7535	269000	299000	615375	0.0363	
0.1024				0.9216			1	0.0017		0.1024	0.1224		
61.24	61.44	0.61	0.006	3529.6	0.9216		6000	1		6133	735	0.1524	
331.776	331.776	331.78	0.331	497.7	1.3271		324000	5.70		3571215	8193	0.1281	
0.0229				0.8361			0.907			1	0.111		
0.8361	0.0083			7.549			8.163	0.0014		9	1	0.0002	
40.47	40.47			6070.2				6.5867		43560	4840	1	0.0016
2589938			2.59			10.36		4215	7.806			640	1

國立北京大學農學院森林立地學講義

附表二

中外容積折合表

標準制		華制(舊制)		英 美 制			
升	立方公尺	升	立方尺	立方呎	立方碼	英加侖	美加侖
1		0.966	0.0305	0.03531		0.22	0.2642
1000	1		30.5175	35.3145	1.3079	219.975	264.2
1.0355		1	0.0316	0.03655		0.228	0.274
32.768	0.03277	31.677	1	1.1572	0.0428	7.21	8.66
28.32	0.02832	27.38	0.8642	1	0.03704	6.2288	7.48
764.5	0.76451	739	23.32	27	1	168.18	202
4.546	0.0045	4.39	0.1386	0.1605		1	1.201
3.785		3.66	0.1154	0.1337		0.8327	1
			1立方吋 =	16.39	立方公分		

中外重量折合表

標準制			華制(市制)		華制(舊制)		英 美 制			
公分	公斤	公噸	兩	斤	兩	斤	盎司	磅	短噸	重噸
1			0.032		0.0268		0.035			
1000	1	0.001	32	2	268.09	1.675	35.274	2.205		
	1000	1	2000		1675.36		22046	1102	0.9842	
31.25			1	0.0525	0.8395	0.05235	1.1023	0.069		
500	0.5		16	1	13.405	0.8378	17.537	1.1023		
37301	0.373		11936	0.746	1	0.0625	1.3158	0.0872		
596.8	0.587		190.98	1.1936	16	1	21.04	1.3158		
28.35	0.0284		0.9088	0.0568	0.761	0.0415	1	0.0625		
453.59	0.4536		14.5132	0.9072	12.16	0.76	16	1		
	9072	0.907		1814		1520		2000	1	0.89
	1016	1.016		2032		1702		22400	1.120	1

有時受風乾影響甚大。因此伐採森林時，務避免大而積暴露土地，以免地力衰弱，尤於傾斜之開放山地爲然。

14. 風及於森林分布之影響。

Wind in Its Effect on Distribution of Forests

許多地方，樹木絕跡之原因，雖由風之影響；然天然的樹木不能生存，概以土壤寒冷及土壤含水量不足，及其他造因爲主爲根據，風之作用尙在其外。惟極地及高山樹木限界，顯然由風所致，（注 1）。山嶺若被浸蝕爲孤峯，森林遂中止生長。雖較此更高部分，尙處於避風位置，且土壤深厚濕潤，仍可發生森林焉。

高山之溪谷，若爲風力所不及，則森林限界，可延至與寒帶氣候相當之高度。吾人往往見高山向風之側，僅發生『石南灌木叢』（Heath），背風之側，猶有繁茂之森林。

注（1）：Wind velocity and elevation U.S. Weather Bureau, Monthly Weather Review. p 14, 1916.

15. 風對於樹木之效用。

Utility of Wind to Trees

風輸送新鮮二養化炭於各葉之中間（注 2）：具『風媒花之植物』（Anemophilous plant 英 Anemophile Pfl-

anze 德)，必藉風力傳遞花粉：風力可傳布種子：故風為森林所必要。須生於空氣流動之開放地樹種，始可行風媒授粉：在風力平穩之林內，則甚鮮。就中以風力傳布種子，對於「森林分布」( Forest distribution 英 Die Verbreitung der Walder 德)，極為重要。至於風力輸送種子之遠近，視：(1) 結實年度風之速度，(2) 種子及果實之性質而定。具大翼或其他便於浮飄構造。且本體輕小之果實或種子，常傳布至數英里之遠。

注 (2) Schimper, A.F. W., Plant geography upon a physiological basis (English translation by Fisher). Oxford, 1903.

#### 16 電 閃。

#### LIGHTNING.

#### DER BLITZ.

電閃對於森林：組成及：性質之影響，極為明顯。亦分為直接影響及間接影響。惟關於電擊森林之「概率」，則論證尚少。故同地或異地各樹種被害之程度，亦缺乏統計比較。在歐洲則已有研究，某立地被害程度，重於其他立地，又某樹種較他樹種易遭電害者（注 1）。概而論之，則山地森林較低地或平地之森林易遭此患。

也。

注 (1); Fürst, H., *The Protection of Woodlands* (English translation by Nisbet), p. 43. Edinburgh, 1893.

(16-ii) 各樹種雖多少皆可罹電害，然山毛櫸類(Beech 英 *Fagus* 拉丁)受害之度似輕於橡類(Oak 英 *Quercus* 拉丁)及栗類(Chest-nut 英 *Castanea* 拉丁)。針葉樹——特如雲杉類(Spruce 英 *Picea* 拉丁)松類(Pine 英 *Pinus* 拉丁)——較闊葉樹遭雷擊時為多，其遭雷害之程度亦較大。愈生於開放地之樹木，則雷剝樹皮或其他機械損壞愈不易恢復。一般樹幹含水分愈多，則被害之度愈烈。含水愈少，則受害亦輕。在同一樹種，則是否易遭雷擊？視：(1)樹高，(2)株距，(3)木材傳導力，(4)木材之性質，(5)樹冠擴張大小，(6)根之位置而異。

### 17. 電閃及於森林發育之直接影響

*The Direct Effect of Lightning on Forest Growth.*

電閃之直接作用，多屬於機械力：擊劈樹幹，折斷樹枝，剝離樹皮。Hartig 氏(注 1)謂樹木有時全體被電擊斃，而毫不見其絲毫之機械損傷者，蓋電流由樹頂經濕幹外表，以通入地下時，完全燒死其「形成層」



(Cambium 英 kambium 德)也。據最近歐洲考察，高山森林，當電閃經過時，常有停蓄電流者，藉樹木傳導空中之電於地下，此時樹體雖未被電擊燬，但已失去其生機矣。

(17-ii) 某特殊地帶，遭電害之概率，似視其地方之局部地形為轉移，據美國西部報告，指示各種高山地方電閃帶(Lightning Zone)。

(17-iii) 「高電位差」(High Voltage)，經過不完全絕緣之電線時，則觸於電線之樹木，常遭電擊，即俗稱走電是也。對此種「市街行道樹」(Street trees)及「國道行道樹」(Country road trees)所遭走電之害，尙不能充分了解其內容。惟接觸不完全絕緣電線之樹木，既常被電燬，則電害不盡限於某特殊地方，益為可信(注2)一般「直流電」(Direct current)較「交流電」(Alternating Current)之危害重。

注(1) Hartig, R., Lehrbuch der Baumkrankheiten 2 Aufl, s. 273, Berlin, 1889.

注(2) Stone, G. E., Electrical injuries to trees, Mass. Agr. Exp. sta., Bull. 156, 1914.

18. 電閃及於森林發育之間接影響。

The Indirect Effect of Lightning on Forest Growth.

電閃之主要間接影響，爲由此所引起之森林火災，(注3)。高山森林火災之動因，首推電閃，所有林木，多少皆受電火之害，各大森林中，若暴雷雨(Thunder storm)之後，不繼之以強雨，則電閃必爲森林火災之主因。

電閃亦爲立地因子之一；惟其概率及影響程度，只可由直接觀察：落雷日數，及植生所受影響測定之。

注(3): Plummer, F. G., Lightning in relation to forest fires, U.S. Forest Service, Bull 111, 1912.

19. 大氣夾雜物

ATMOSPHERIC IMPURITIES.

火山或硫黃泉附近之森林，多少遭毒瓦斯之害；存於水蒸汽中之無水亞硫酸(Sulphurous acid 英 Schweflige Säure 德  $H_2SO_2$ )，爲致害之主要因子。然地球上天然發生硫酸危害之地域極少，除非與大工廠，因燃燒多量石炭發生之危害，有同樣之硫酸危害時，則不能認硫酸爲立地因子(注1)。Wislicenus 氏及其他學者(注2)研究結果，證明林冠吸收氣體亞硫酸後，遂酸化爲無水硫酸(Sulphuric acid 英 Schwefelsäure 德  $H_2SO_4$ )，而有毒之作

用。因各樹種抵抗大氣夾雜物危害之力不同，故於燃煤甚多大工廠附近造林時，應考慮何樹種之抵抗力最大而採用之。

注(1) Mason, D. T., The life history of lodgepole pine in the Rocky Mountain, U.S. Forest Service Bull. 154 p. 22, 1915.

注(2) Wislicenus, H. J. H., u. Neger, F. W. Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der Aussäuren auf die Pflanze, Mittheilungen u. d. königl. Sächsischen Versuchsanstalt zu Tharant. Bd. 1, Heft 3. Berlin, 1914.

## 20. 對於大氣夾雜物危害之抵抗。

Resistance to Injury from Atmospheric Impurities.

因針葉樹冬季不落葉，故較闊葉樹易感瓦斯之危害。宿葉之時期愈久，則受害愈重，換言之，樹木抵抗瓦斯危害之力量，與不落葉之期間，為反比例。針葉樹之樅類 (Aies) 及雲杉類 (Picea) 最易受害；松類 (Pine) 次之；落葉松類 (Larix) 最不易受害 (注3)。闊葉樹中，橡類 (Quercus) 栗類 (Castanea) 受害最難；槭類 (Acer), 樺類 (Fraxinus) 及榆類 (Ulmus) 受害稍易；山毛

櫟類 (Fagus) 白楊類 (Populus) 山櫻桃屬 (Prunus) 受害最易。而大氣濕度，及於瓦斯之害，影響最大。凡生於有霧或濕潤空氣之樹種，罹瓦斯之害最深。

注 (3) Hartig, R., Lehrbuch der Baumkrankheiten,

2 Aufl. s. 272, Berlin 1889.

氣候因子終



國立北京大學農學院森林立地學講義 121

僅由實驗所得生命因子之絕對的結論，實際上完全錯誤  
「美國農務部土壤局及美國各農事試驗場研究結果，發現土壤的理化相關之複合性質。英國學者發現，土壤內有種種之生物。數年以前，「土壤膠質性 (Colloidal nature of Soil) 說」發現以來，遂推翻以前所得許多土壤結論。

注(1) Russell, E.T., Soil conditions and plant growth.  
London, 1921.

( I-vi ) Russell ( 注2 ) 謂：「粗粒之土壤，缺乏化學的生機，然植之碎屑，則適與此相反」

注(2) 參考書與注(1)同

( I-vii ) 美國一般按照土壤之理學分子間比例，分土壤為次之十一級



土壤之理學的等級

SOIL CLASSES ON BASIS OF MECHANICAL ANALYSIS

土壤之等級 Classes	土壤微粒之直徑 (公厘)						
	Diameters of Particles in mm.						
	(1) 細砂利 Fine gravel 2-1	(2) 粗砂 Coarse Sand 1-0.5	(3) 中砂 Medium Sand 0.5-0.25	(4) 細砂 Fine Sand 0.25-0.1	(5) 極細砂 very fine Sand 0.1-0.05	(6) 淤泥 Silt 0.05-0.005	(7) 粘土 Clay 0.005-0
粗砂 Coarse Sand	(1)及(2)在25%以上 (1),(2)及(3)在20%以上				(6)及(7)在20%以下		0-15% 0-10%
中砂 Medium Sand	(1)及(2)在25%以下 (1),(2)及(3)在20%以上				(6)及(7)在20%以下		0-15% 0-10%
細砂 Fine Sand	(1),(2)及(3)在20%以下				(6)及(7)在20%以下		0-15% 0-10%
砂質壤土 Sandy loam	(1),(2)及(3)在20%以上				(6)及(7)在20%以上 (6)及(7)在50%以下		10-35% 5-15%
細砂質壤土 Fine sandy loam	(1),(2)及(3)在20%以下				(6)及(7)在20%以上 (6)及(7)在50%以下 (6)及(7)在15-25%以下 (6)55%		10-35% 5-15%
壤土 Loam					(6)及(7)在50%以上		
沖積壤土 Silt loam					(6) > 55% (7) < 25%		
埴質壤土 Clay loam					(6)25-55% (7)25-35% (6)及(7) > 60%		
沙質埴土 Sandy Clay					< 25%—55% 7 > 20% (6)及(7) < 60%		
沖積埴土 Silt Clay					(6) > 55% 25-35%		
粘土 Clay					(7) > 35% (6)及(7) > 60%		



2. 土壤之天然狀況。

The Nature of Soil,

按廣義解釋，則土壤包含：

(1) 堅硬之淺生岩石；

Solid surface Rock

(2) 天然存在之風化疏鬆土壤；

Loose soil produced in situ by weatherin

(3) 由其他立地運來之風化疏鬆土壤；

Loose soil produced by weathering

and transported from some Other Site

堅硬淺生岩石之性質，視其理學構造及化學組成而異，不惟各岩石之化學成分差異極大，即其硬度（Hardness 英 Die Harte 德）疏密度（Porosity 英 Die Locherigkeit 德）比熱（Specific heat 英 Spezifische warme 德）放熱及吸熱力（Power of Radiation and Absorption）亦相差甚遠。

(2—i) 組成土壤之化學元質，凡二十一種。其中之養氣，輕氣，硅，鈉，鉀，鈣，鎂，鋁，鐵共佔土壤物質之 97%（注 1）。此等原質，以養化物或礦岩形狀，構成大塊之岩石。堅硬之淺層地殼，半由長石類（fel-

dspar) 組成；三分之一係由石英類 (Quartz) (或硅之結晶) 所組成。鈣質不惟見於古成岩 (Old Rock)，且以多量石灰石 (Lime stone) 白堊 (Chalk) 等次成岩 (或碎屑岩) (Secondary Rock, Fragmental Rock) 而存在。

注 (1) Burt, F. A., Soil mineralogy, New York, 1927, (2—iii) 堅硬淺生岩之大部分，雖由少數化學原質所組成，然所造成岩石種類極多，且各種間之理化性質，差異極大。

### 3. 風化作用之程序。

#### WEATHERING PROCESSES

#### GLIEDERUNG DER VERWITTERUNG.

土壤之無機部分，為風化之結果。風化者，乃因環境有種種變化，地殼為適應此環境變化，自身遂生調整，以因應之之謂也。此種對於環境之反應，兼屬於物理學的及化學的。又因其多由大氣狀態所引起，故有 Weathering 之名。一般風化包含：

- 1.) 硅土 (Silica 英 Kieselerde 德  $\text{SiO}_2$ ) 及鹽基類之分離作用 (Separation 英 Trennung 德)；
- 2.) 鹽基類之炭化 (Carbonization 英 Verkohlung 德)

3. ) 殘餘矽酸鹽 ( Silicate 英 Silikat 德) 礬土 ( Alumina 英 Tonaerde 德  $Al_2O_3$ ) 之水和作用 ( Hydration 英 Hydratation 德) ;
4. ) 由第一鐵化合物 ( Ferrous) 變爲第二鐵化合物 ( Ferric) 時之酸化作用 ( Oxidation 英 Ox- ydation 德) ;
5. ) 岩石之比重 ( Specific gravity 英 Spezifisches Gewicht 德) 減低，及其容積增大。

以下兩種風化程序，作用於地殼，使之疏鬆，且分解之爲微粒：

- I. 機械的或物理的風化或稱『崩壞』 ( Disintegrating 英 Zerfallung 德)
- II. 化學的風化或稱『分解』 ( Decomposing 英 Zer- setzung 德) 。

然此二者係相伴而進行。故土壤之種類，隨崩壞率而異。已風化之土壤，資動植物之發育，如蚯蚓及土壤細菌 ( Soil bacteria) 生於風化之岩酸岩及其他風化礦物。土壤細菌之生活愈活潑，風化率亦應之而增加。

#### 4. 機械的及物理的風化。

Mechanical and Physical Weathering

## Mechanische-und Physikalische-Verwitterung

崩壞起於風及水之力量。如：浸蝕（Abrasion）凍結（Frost action 英 Frostriss 德）膨漲（Expansion 英 Ausdehnung 德）收縮（Contraction 英 Zusammenziehung 德）；皆由於溫度變化，及生於表層土壤之微生物所致。故風化物經風或水輸送時，與之接觸之淺生岩，遂被其銷磨。岩石崩壞率遂與所輸送浸蝕物之數量及輸送速度為正比。又與岩石本身之硬度，及其種類性質有關。凍結限於淺生岩，且限於氣候及季節之影響。如岩石之構造為雲母狀（Micaceous 英 Glimerig 德）纖維狀（Fibrous 英 Fibros 德）多孔狀（Porous 英 Poros 德），最易崩壞。

（4-i）起於溫度變化之膨脹與收縮，在破碎塊狀岩（Massive rock 英 Massige Gestein 德）時其力最大；尤於塊狀岩含數種不同膨漲係數（Coefficient of Expansion 英 Ausdehnungskoeffizient 德）礦質時為然。若其組成之各礦質顏色不同時，其收熱放熱，遂不一律，膨漲遂不相等，因而發生一種張力（Tension 英 Spannung 德）。樹根最易伸入有裂隙之岩塊；擴張之根系，撬開岩石之碎片，猶如楔之作用於木材也。

5. 化學的風化。

Chemical Weathering

Che nische Verwitterung

自然界概無真正不溶解之物質。至於某物質，一時似為不溶性之狀態者，乃其所存之時間，係處於不可溶解之環境而已；即如一切鹽基性之化學物質，皆存於海水。純粹狀態之水分，永不見於自然界。蓋降水落下時，分解岩石，遂於水分中，含有種種之礦質。土壤之重要分解作用為：

1) 水和作用

Hydration

Hydratation

2) 炭酸化

Carbonation

3) 酸化

Oxidation

Oxydation

4) 加水分解

Hydrolysis

Hydrolyse

此等作用，係同時進行，且互相關連。尤以水和作用為最廣的風化反應，影響於各種礦物。水和作用之效果為：

1. ) 減低硬度 (Hardness 英 Harte 德)；
2. ) 減低密度 (Density 英 Dichtigkeit 德)；
3. ) 放熱 (Heat 英 Warme 德)；
4. ) 增增溶解度 (Solubility 英 Löslichkeit 德)。

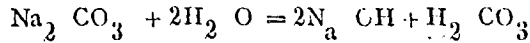
主要之碳酸化物，為普存於天然水中之二酸化炭 (Carbondioxide 英 Kohlensaure 德  $\text{CO}_2$ )。碳酸化進行時，水中之石炭酸 (Carbonic acid 英 Karbolsaure 德  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) 常被礦物中之正硅酸 (Silicic acid 英 Kieselsaure 德  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) 所置換，或被酸素或其他酸根 (Acid radical 英 Saureradikal 德如  $\text{NO}_3^-$ — $\text{SO}_4^{2-}$ ) 所置換在此反應，礦物盛行放熱，且礦物之容積充量增加，約增其原來容積 15—50%；由此造成之碳酸鹽類 (Carbonate 英 Karbonat 德  $\text{CO}_3^{2-}$ )，造成以後，立即離開土壤以為常。如在乾燥區域，常堆積為一般所稱之城質 (Alkali)；堆積至某程度，即妨植生之發育。

(5—ii) 酸化 (即養化) 不斷的在土壤內進行。土壤內最重要之風化作用，為：由第一鐵 (Ferrous iron 英

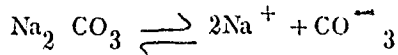
國立北京大學農學院森林立地學講義 131

Ferro Eisen 德  $\text{Fe}_2 \text{O}_3$  ) 變爲第二鐵 ( Ferric acid 英 Eisensaure 英  $\text{H}_2 \text{FeO}_4$  ) ; 及硫化物 ( -sulphide 英 Sulfid 德 ) 經酸化變爲硫化鹽 ( Sulphate 英 Sulfat 德 ) 酸化有時伴水和作用而進行。凡未受風化之堆石 ( Moraines 英 Morane 德 ) 作蒼藍色；反之，已受風化者，呈種種深淺之紅色。蓋岩石之含鐵部分，一經酸化，遂變爲紅色。

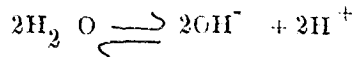
加水分解爲水及鹽類之複分解 ( Double decomposition 英 Doppelzersezung 德 ) 。下式中之伊洪 ( Ions ) 再凝集爲游離酸 ( Free acid ) 及游離鹽基 ( Free base ) :--



此反應內，真正之變化爲碳酸鈉 ( Sodium-Carbonate. ) 之強電離 ( Strong ionization )



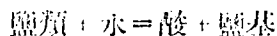
及水之弱電離 ( Weak ionization )



而此分解作用之生成物，再聚集爲苛性鈉 ( Sodium hydroxid, NaOH ) 及碳酸 ( Carbon acid  $\text{H}_2 \text{CO}_3$  ) 。此時，

因水酸化物 (Hydroxide) 之強電離，游離許多水酸基伊洪 (Hydroxyl ions) 遂予溶液 (Solution) 以鹼性 (Alkaline)。如鹽之由強鹽基及弱根酸所組成是也。他方，若行化學反應之鹹，由弱鹽基及強酸根所組成——如鹽化第三鐵 (Ferric chloride,  $\text{FeCl}_3$ ) ——則結果之溶液變為酸性 (注1)。

加水分解，在土壤之化學分解中，為極普通的因子，即以下之現象：



因該現象之影響，及於土壤之酸性度 (acidity) 及鹼性度 (alkalinity)；若兩者任何一種過量時，遂影響土壤之生產力，故此現象，對於土壤極為重要。

注 (1) Burt, F.A., Soil mineralogy, New York, 1927

## 6. 腐植質及於風化之影響

### Effect of Humus on Weathering

當動植物質腐爛時，形成多少可溶性之暗色有機產物，是為「腐植質」 (Humus substances)。此物影響風化作用甚深。如寒冷區域之蒼色風化土壤，一般人稱為「灰色土」 (Podsol) 是也。碳酸鹽 (Carbonate) 硅酸鹽之分解，恆在其被腐植質作用，使其漂白或變灰色以



前告終。腐植質風化時，漂白層失去其易溶解之鉀鈣鎂等混合物，及較難溶解之物質，——如酸化鐵（iron oxide）。又腐植質風化，常使土壤失去其膠質物（Collid 按此即黏土 Clay）。又因上述各原素所成之物質，沉澱堆積於腐植層下者，被水滌去，故漂白層遂一律富於硅土（Silica,  $\text{Si}_1\text{O}_2$ ）。

(6—i) 腐植質為膠質性物，且似已與其他物質攙混而沉積於下層。腐植質又可作用於鐵鏽，一若為其保護之膠質外衣，使其仍以原狀存於溶液之中。待其到達沉積層，必有說明腐植質沉澱堆積之理由。故濾過（或滲透）作用時，各種溶液，透過上層以後，遂達到某一定之「濃度」、(Concentration 英 Konzentration 德)；此時若各膠質性溶液，具有陰陽兩電時，則異性之溶液，可以互相沉澱。又表層土壤內之石灰質，易被滌盪而堆積於下層。最後，腐植質作用時，鐵鏽及腐植質本身透過表層而堆積於下層，促該層之膠質堆積物，發生電離的毛狀沉澱（Electrolytic flocculation）；一部分學者，以為沉澱作用，有時由毛細管現象（Capillary phenomenon）所致。

### 7. 土壤為風化之產物

## Soil, the Product of Weathering

Glinka 氏 (注1.) 發表：「若以土壤為風化之產物，則凡地殼各部，顯然有風化影響痕迹可尋者，皆得稱為土壤」。且謂「風化物由生成地方，轉送其他地方而淤積，若其外部與內部之特性，尚未受新淤積地土壤造成作用 (Soil-making processes) 所變化時，仍非極狹義之土壤」。因各地方之土壤造成作用不一，故同一風化產物，轉送於甲地方後，所成之土壤與轉送乙地方後所成之土壤，未必相同。縱令地殼各部統由一種岩石所構成，其土壤亦決不一致，惟具有相同風化狀況之地方，其土壤乃屬於同型耳。

注 (1) : Glinka, K, D., The great soil groups of the world and their development (Translated into English by Marbut) . Ann. Arbor, 1927.

8. 土壤之分類。

## SOIL CLASSIFICATION

從前曾按岩石學 (Petrography 英 Petrographie 德) 之機械及化學的特質，區分土壤。近年因 Glinka 氏倡導，學者遂公認由土壤各羣族之型式定義，及以氣候為基

礎而區別土壤，所得之分類法，對於土壤之比較研究（Comparative study of solis），不論理論上或實用上皆甚重要。

（8—ii）氣候對於土壤造成上，屬極重要，見於各種事實。即如，有機質之腐敗分解，主為土壤內低級有機物生命過程之結果，而其生命活動之強度 = 與特性 = ，則多受氣候——溫度濕氣——之支配。除土壤內之「原生礦物」（Primary micra's 英 Primare - Minerale 德）外部分，概由氣候決定土壤內之「特性成分」（Characteristic constituents 英 Charakteristischen Ubergemengteile 德），而植生之生產又視此成分為轉移。

（8 iii）疏鬆之土壤，概與堅硬之淺生岩石不同。前者概普遍的分布於地面，後者則隨地方面種類不一，且不盡普遍的分布於地面。又土壤含有「由有機的及礦物的化合物（Compound 英 Verbindung 德）所成之複合物」，故土壤與地殼之未受風化成分不同。發育適當之天然土壤，各有一定之排列法。如土壤縱斷面所顯之各層是也。而層之排列，隨支配土壤之外圍條件而極不一致。有機物生活，不斷的影響於土壤，故土壤縱斷面之性質，又隨此有機物生活為變遷。

(8—iv) 由上述，則最狹義之土壤，似為『遺留於風化地方之風化產物。』土壤縱斷面，即為所有參加土壤造成之內力外力之總表現。即：立地之氣候條件，濕氣，濕熱共同作用之效果，植生之重要性質，及露於地表岩石之特質，皆由各羣土壤之造成形態表現之。

(8—v) 由土壤縱斷面記載圖 (Profile description) 斷定垂直面內各層之狀態。因土壤縱斷面性質常不整齊，且構造複雜，而各層之界線又多不清，——即由甲層漸漸入於乙層，——故近代土壤著述，多改『層』(Layer) 為『系』(Horizon)。縱斷面上顏色不同組成互異之各系，如何分布，并非出於偶然，實與土壤造成作用有關。即如：(1) 空氣水分流通力 (accessibility)，(2) 二者在土壤內之通路。(3) 根之作用，(4) 微生物及其他「土壤植物區系」(Soil flora) 「土壤動物區系」(Soil fauna) 之生活作用。故一定之土壤為此各種作用曾「從前的或正在進行中」之反應。因土壤之力學性質，使其一方面或他方面，常發生變化，故土壤非靜止者。

一般，森林土壤包括以下各系：

(A系) 表土系) 居土壤之最上層，其中之物質已溶化，運送於他處，此系構成表土 (Surface Soil)

第五章 地質因子

THE PHYSIOGRAPHIC FACTORS

爲便於研究起見，分地質因子爲：

I. 直接作用的因子或土壤因子：

1.) 土壤之組成；

Soil composition

Zusammensetzung des Bodens

2.) 土壤之溫度；

Soil temperature

Wärme des Bodens

3.) 土壤之氣體含有量；

Gaseous Content

Luftgehalt des Bodens

4.) 土壤之含水量；

Soil moisture

Wassergehalt des Bodens

II. 間接作用的因子或位置因子：

1.) 地形；

Configuration

Der Bau des Bodens

2.) 海標高；

Altitud

Hohenlage

3.) 傾斜度；

Slope

Bodenneigung

4.) 方向；

Exposure

Lage oder Exposition

5.) 地被；

Surface

Bodendecke

6.) 深度；

Depth

Mächtigkeit

直接作用的因子，決定：(1)有效養分<sup>二</sup>，(2)有效水分<sup>二</sup>，(3)有效氣體<sup>二</sup>，(4)有效溫熱<sup>二</sup>之供給量；及(5)各種有害作用，及(6)各種有害物質，故直接影響於森林植生甚深。然以上各因子，作用於森林立地時，其程度極不相等；為適於森林適當發育，必使各因子在—

定之最適量，如超過或不及此量，其害惟一。

### 土壤之組成

#### SOIL COMPOSITION

##### 1. 土壤與樹木之關係。

##### The Soil in Its Relation to Trees

樹木及其他植物之根，伸入地殼表層，以攝取營養物質，供其本體優良發育之需。然森林植生之種類，及其他形上的分布，遠近皆視底土（*Substratum* 英 *Untergrund* 德）之天然性質為轉移。且底土為樹根「生長」「發育」區域所寄，不僅由其機械的力量，支持樹體；更供給樹木以生活必需之水分。播種以後，種子萌發於地內或地上，幼根伸入土壤微粒之間，以吸收生活過程必需之水分及養料。設土壤為不利於根之伸張，或不能充量供給養料之狀態，樹木必不能生存。

( I-ii ) 氣候的綜合作用，固為決定樹種分布區域之主要條件。而土壤之形質及狀態，亦為各樹種限界之標準。即如降水量不充足時，土壤遂乾燥不適於其樹種之生存。又如土壤之理學狀態不利時，為限制該樹種分布之原因：如石灰質土壤，往往妨碍某樹種之擴張是也。

## 120. 國立北京大學農學院森林立地學講義

(I-iii) 土壤既供給水分養料於樹體，故土地的作用或林木之發育殆無不受土壤之支配者。生長率 (Rate of Growth 英 Zu-wachsprözent 德) 生命期限 (Duration of Life 英 Lebensdauer 德) 樹形 (Form) 木材品質 (Quality of Wood) 耐陰性 (Tolerance) 更新 (Reproduction 英 Verjungung 德) 及 收額 (Yield 英 Ertrag 德) 之一部或其他部分，概受土壤之支配與限制。嚴格論之，樹木不能直接由空氣或土壤獲得食料，乃由與食料調和之物質，獲得食料也。

(I-iv) 土壤影響之效力，在樹種之區系分布上，最為明顯。當區系分布範圍以內，復受局部地方的限制；而特殊之樹種，更限於局部地方之一定立地。立地之位級雖受各種因子之支配，當一般多以土壤性質為控制因子。土壤有變遷時，森林之組成及木材之產量亦必應之而變動。

(I-v) 及於森林植生之土壤的「理—化—生」(Physico-chemical-biologic) 混合影響，極為複雜。最近歐美、土壤研究界之論點，皆承認土壤之複雜現象，且對於早年研究家所成之結論，多抱懷疑。Russell 氏(注1) 以為若不顧慮其他問題，率爾獲得簡單的生命因子，或



B 系（心土系） 緊接表土系以下之沉澱系也，他處之物質曾被水蝕移至此系

C 系（底土系） 居心土系以下，為比較的未受風化物質所成。系內尙未受隆起沖積之影響。由初來的物質所組成。

（8—vi）因崩解（molding）及破壞（Rotting）之作用不同，故表土系變動極大。分為：

1. 落葉地被層（Litter layer 英 Bodenstreu 德）一或尙未變化之動植物遺體。此層主由最近之落葉下枝所構成，因其物理條件適當，故所受之露天作用（Aeriation）甚優。
2. 有機質分解中之腐植層（Duff layer of organic matter in the progress of decomposition）。此層內植物之構造仍甚明瞭，即 Hesselmann 氏之 F 系。露天作用優良。惟層內尙無擔子菌絲（Fungal hyphae 及真菌纖維（mycedial threads））。或為灰色型（Podsol type）土壤，或為混雜型（Mull typ<sup>e</sup>）土壤，因之，此層變化極大。有時形成極厚之灰色土層，亦有時形成極薄之混雜土層。
3. 成熟腐植質層（Humus layer）。分解已久，植物

體之構造不復分明。與其直下之礦物質土壤接觸，受『變質作用』(Alteration process)之影響。露天作用貧弱。腐層內仍有『粗腐植質』(Raw humus)占優勢，則全層可達極厚，且與擔子菌絲及真菌纖維纏繞混雜。模式之混雜土壤，腐植質極薄，或竟缺乏，遂與表土系之上層混合不能分清矣。此即 Hesselman 氏之 II 系



(8—Vii) 土壤造成作用，侵入地殼深淺不同；侵入之深度——即如風化作用所表示者——即為一般決定土壤深度之標準。

(8—Viii) 此書不能詳述土壤分類之各種系統。最近 Glinka 氏 (注 1) 分舉許多土壤型式的系統，且指出某種分類法之優點及劣點。然應用於土壤記載及土壤分類最廣之要義為發生學的各要點。Dokutschajeff 氏 (注 2) 於 1879 年始創土壤之發生學的分類法，由氏之歐洲俄羅斯土壤研究，承認氣候為土壤分類之基礎。自後，世界許多研究者雖曾以 Glinka 氏之研究為先河，斯時亦多就此基礎發揮引申云。

注 (1) Glinka, K.D., The great soil groups of world and their development (Translated into English by Marbut), Ann, Arbor. 1927

注 (2) Dokutschajeff, Kartographie der Russian Boden 1879.

#### G. 森林土壤之組織。

#### COMPOSITION OF FOREST SOIL.

土壤為由以下四部分所組成之溫合物，已為世人所習知 (注 3)：——

1. 礦質微粒狀之岩石分解物。是為土壤之骨格，實際上大體可認為其質不變。
2. 當疏鬆土壤，造成之際，與礦物微粒同時沉澱之有機質微量；又碳酸鈣 (Calcium carbonate,  $\text{CaCO}_3$ ) 及磷酸鈣 (Calcium phosphate,  $\text{Ca}(\text{PO}_4)$ )。
3. 土壤溶液，主為碳酸 (Carbonic acid,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) 之稀薄溶液；如係特殊土壤，則溶液中更含有其他可溶性之物質。
4. 有機物生活時排出之廢物，及死亡後之遺體。此等生物本體不但生活時吸入土壤溶液中之礦物質且含有其生活時所同化之有機物質。

所有森林土壤皆含有此四部分，概為不易，至於各處森林土壤含有此量之多寡則未必同一比例，某一部分之含有量究達如何之比例，實為土壤功效之重要因子，且為土壤分類之標準。

注 (3) Russell, E.J., Soil conditions and Plant growth, p. 94. London, 1921.

#### 10. 土壤中之岩石崩壞物質。

The disintegrated rock materials of the soil.

土壤內各種粒狀或微粒狀之礦物部分對於土壤中其

他成分之關係最爲重要，彼等雖不能直接供給養料於樹體，但爲存儲食料及輸送食料之媒介物。且土壤之功效視微粒之形狀而異；微粒形狀差別愈大則土壤之功效愈異。僅礦物微粒之形狀，雖爲土壤功效之廣泛指標，但實際上極不可靠。因土壤之礦物部分，由極差異之形狀及大小極不相同之多種微粒組成，僅爲任意分類法所採取。由機械的分析，微粒仍可歸納爲少數種類之土壤碎屑（Fractions），每種土壤碎屑，包含一定直徑等級之各微粒。

(10 - ii) 各國土壤機械分析所得土壤碎屑之名稱及大小等級表

NAMES AND SIZES OF FRACTIONS OBTAINED  
BY MECHANICAL ANALYSES OF SOILS  
IN DIFFERENT COUNTRIES

	碎屑之名稱 Name of Fraction	微粒直徑之限界 Limits of Diameter of Particles	
美國 (American) 土壤局 (Bureau of Soils) G. N. Coffey	細砂	公厘 (m.m.) 2—1	
	利砂	1—0.5	
	粗砂	0.5—0.25	
	中砂	0.25—0.1	
	細砂	0.1—0.05	
	極細砂	0.05—0.01	
	沖積土	0.01—0.005	
	沖積土	0.005以下	
	結土		
	英國 (British)	細砂	3—1
		粗砂	1—0.2
		細砂	0.2—0.04
		沖積土	0.04—0.01
沖積土		0.01—0.002	
細砂		0.002以下	
粘土			

瑞典伯 (Atterberg) 曾被提議為萬國已 通用制，德國已 經採用此制矣	利 Kies (Gravel) ..... 2.0 以上 砂 Sand (Coarse sand) ..... 2.0—0.2 砂 Mo (Sand) ..... 0.2—0.02 砂 Fein Sand (Fine sand) ..... 0.2—0.06 極細砂 Mehl sand (Very fine sand) ..... 0.06—0.02 沖積土 Schluff, or Staub (Silt) ..... 0.02—0.002 粗沖積土 Grober Schluff (Coarse silt) ..... 0.02—0.006 細沖積土 Fein Schluff (Fine silt) ..... 0.006—0.002 粘土 Schlamm or Ton (Clay) ..... 0.002 以下
瑞典及 挪威 (Scandinavian)	岩石 Rocks ..... 200 以上 石塊 Stones ..... 200—20 利砂 Gravel ..... 20—2 粗砂 Coarse sand ..... 2—0.2 細砂 Fine sand ..... 0.2—0.02 沖積土 Silt ..... 0.02—0.002 粘土 Clay ..... 0.002 以下

11. 粘土碎屑。

The Clay Fraction.



粘土係柔軟之膠性物，經水後，固結，不透水及空氣。濕之雖甚柔軟，乾則收縮堅硬。顯微鏡下，窺見其微粒極小，故能生Brownian氏分子運動（Brownian movement）。比重雖大而沉水極緩。其最顯然之特性，為負有電解之微量；此極微之電解，使粘土微粒集合團結，此現象見於各種結團物質，即如炭酸石灰加於粘土微粒時，則使之懸系不沉是也。時各微粒聚集沉澱後，溶液遂清，然已團結之粘土微粒，失去其柔軟性，不透水性（Impermiability）及懸系於水中之能力。團結力（Flocculating agent）被滌去時，或加以 Alkali——如苛性曹達（Caustic potash）時，則返還其本性。如此種之性質對於土壤之肥沃度最為重要；即其他之土壤成分決不如粘土關係之重，「成分過少不足供植物發育之需，成分過多遂因結而為害」。

#### 12. 粘土之膠性。

#### THE COLLOIDAL PROPERTIES OF THE CLAY FRACTION —

真正之溶液中，決不能分清微粒，且溶液永遠安定，如食鹽之溶於水中是也。膠性溶液中，其微粒只能在顯微鏡下分清，或在顯微鏡下，猶不能分清，——稱為

超顯微 (Ultra-microscopical) —— 其溶液仍為安定，如尋常之牛乳是也。然沖積—淤泥—溶液中，不但微粒可以分清，且溶液為不安定。而微粒之形狀支配溶液佔濶散系 (Dispersed System) 中何位置。

(11—ii) 膠質並非真正之物質，僅係物質化為極小微粒時之狀態或狀況也。膠性係由微粒表面過度擴張所致。故凡可化分為極小之任何物質，皆含有膠性。粘土碎屑為土壤內具有膠性微粒之最小者。最膠性最明顯之點，分離溶質之力。一般以此現象，為物體溢出膠質表面而凝集之力，故稱為『吸著』(Adsorption)。植物營養中所最需要之電離性礦鹽及電離性有機質，皆離其溶液，以免隨之流失。故實際上，由落葉地被分解腐敗以攙入土壤之養分，除被機械力埋沒外，殆皆遺存於表層；倘表層所存含淡氣物質，經水滲入下層，遂為根端所不及，其土壤亦稱為貧瘠；然此物質恆被表層土壤之膠質性所留止，故能供根吸收。惟膠質在土壤內如何排列，尚未明瞭。Russell 氏 (注 1) 謂精密檢查結果，其排列法如下：『礦物微粒，——特如緻密之硅酸鹽——由膠質性溫合物所包被；而此混合物內含有由岩石物質及腐植質風化而待之硅，鉛，酸化第三鐵，阿爾加里等基，

及磷酸。此等成分，非真正之化合物，乃係堅硬之溶質  
。』

注(1) ; Russell, E.J., *Solid Conditions and plant growth*, p. 171. London, 1921.

(12—iii) 投鹽類於膠質溶液——如粘土溶液——遂現出陰陽兩極之電離；負有陽電之各微粒，與負有陰電之各微粒，互相凝集而中和。若土壤內另有保護膠質之物質，則電離時不致於互相凝集；此保護質多由腐植質造成，對於膠質有緩衝作用故稱爲緩衝質 (Buffer)

(12—iv) 許多農作物，在沙地發育貧弱，若攙以粘土，賴其引入膠質性而改良之，遂提高地力，保持養分，以供植物需要。然林分 (Forest crops 英 Bestovd 德) 內，由落葉造成腐植質，猶如農作物之於粘土，由其膠質性以改良土壤，且較粘土爲優。

### 13. 沖積土，沙，及沙利，之碎屑。

The silt, sand and gravel fractions

沖積土雖富於含水量，但決不如粘土之富於膠質性及彈性。若細沖積土過量，遂與土壤含過量粘土相同之危害，然缺少與粘相等之利益。粗疏之沖積土，受水滲水均易。一般富於沖積土之土壤與肥沃度因之增高，故

認爲適於森林之發育。但在多雨區域則選供農耕之用。  
 (13—ii) 各種土壤所含沙及沙利之量，彼此懸殊。因其理學性——特如關於土壤濕度者——恰與粘土及細沖積土之理學性質相反。故土壤中沙或沙利過量時，足以左右肥沃度。惟此土壤若富於粘土或腐植時，則肥沃度不僅由沙分決定：緣此時土壤吸著溶解之鹽類，保留之以供根部攝取也。普通以土壤沙量達 40% 至 60%——由細沙至粗沙——或含粘土量低落 30% 以下，若不連續施肥，卽不堪農作之用。森林則不然，林地雖富於沙分，而連年落葉堆積上，雜草灌木枯萎於土內，自然調和土壤，故產出優良木植。要而言之：混有粘土之大面積粗砂質土壤，爲『絕對的林地』(Absolute forest soil 英 Unbedingter oder natürlicher Waldboden)。產生農作物之有機質肥料，經連年耗竭，遂妨害農地之正當利用矣。

#### 14. 與礦質土壤微粒同時堆積之古代有機物。

The Older Organic Matter Deposited Simultaneously with the mineral Soil Particles.

林地中有兩類堆積時代之有機物質：

##### I. 由近世代植物所堆積者。

Depositions from recent generations of plants.

II. 土壤造成時之生物所堆積者，與土壤之年代相同

Depositions from organisms during soil formation and as old as the soil itself.

後者為原始有機物質，前者由生物之連續世代隨時增加，概為植物體。在「表層土」內 (Topsoil 英 Oberboden 德，即表土)，二者雖混雜不清，但深至主根以下之「下層土」 (Subsoil 英 Untergrund 德，即底土) 則僅見原始有機物質之團塊。Russell 氏謂深至十英尺或十英尺以外之沙質下層土，其含淡素之量常少於0.01%而頁岩 (Shales 英 Schieferton 德)，(係由粘土團結而成薄板狀岩石) 含淡之量為前者十倍以上。其炭素含有量為淡素量五倍至十倍。後文說明淡素為近代生物——多為植物——供給土壤之唯一有機物質，對於土壤肥沃度極為重要。

#### 15. 土壤溶液。

The Soil Solution

近代關於土壤溶液之重要理論，為 Arrhenius 氏 (注 1) 所創之電離說 (Theory of ionization)。略謂溶解鹽類

於水時，則鹽之分子，被電力分解為含陽電及含陰電之兩種 ion；氏即以此為其學說之根據。然土壤溶液，未必全體皆受電離作用，或者僅係液之一部。由此說以解釋「滲透壓」(Osmotic pressure 英 Osmotischer Druck 德) 酸類及鹽基類之關係，「稀釋」(Dilute) 及濃厚溶液之性質，中和及其他生物化學現象 (Chemico-biological phenomena)，必較由其他徑途解釋為恰當。

注(1)：Svante Arrhenius (1859--1927) 瑞士 Uppsala 人，——Theory of electrolytic dissociation; Text book of Electro-chemistry

(15—ii) 土壤吸入之水分，由表面張力以分布於土壤微粒，多少呈液體之膜狀 (film)；凡生於土壤中之生物，賴此水分之媒介獲得營養物，以之造成食料，遂而地表發育。此溶液之濃度及成分，隨土壤種類而稍異。實際上，彼雖常含樹木生長所必要之養分，但在顯然瘠瘠之地，彼所含之養分有時不足亦有時過量。硝酸鹽 (Nitrate) 似為土壤溶液中變異最甚之養分；鈣鉀養分之變化亦多，而磷之養分則變化極少。土壤溶液之濃度常介於 0.05% 至 0.10% 之間。過濃之溶液，妨害正常滲透作用，且除少數例外，過濃之溶液多危害森林植生。

(15—iii) 於此應注意者，即土壤溶液不僅應予樹木以必需之養分，且其濃度及成分，須保持一定比例，或生理的平衡。故含鎂鉀等物質雖為樹木之必要養分，而其原素本身對於植物生長本屬有毒，必須為極稀之溶液，或與他種鹽類——例如鈣鹽——混合之狀態而存在始能供植物之需。其次，土壤溶液不僅含植物必要之營養物，抑尚含多少或完全危害森林植生之副物質。一般，各物質之有害程度，見於兩種形式，即

1. 雖少量即有毒害，如酸類及金屬鹽類是也
2. 必多量存在時，始顯然毒害於植物，如鈉鹽及鉀鹽是也。

(15—iv) 森林土壤殆不感礦物養分缺乏。尋常森林土壤，含溶鹽之百分數，大略相同。其因礦物養分缺乏僅發生貧弱之植生者，係因缺乏有效水分所致。然有時某種土壤特性，能令必要之養分，為失效之狀態者；如鐵分缺乏，實由鈣鹽鎂鹽過量所致。如此，則土壤之化學的組成，恆為生長量之控制因子。

#### 16. 近代生物之遺體。

Residues from Recent Organisms.

生物體體排出之廢物或其死後屍體，於森林土壤之

肥沃度極關重要，

(16—ii) 土壤皆含有供植物調配之複雜物質，故土壤能給許多微生物以能力；而此等微生物又隨時化複雜物質為簡單物質，適於植物營養之狀態。故複雜物質參加永久循環：一方營養樹木使之儲蓄日光能力，他方營養微生物使之游離能力。此外，如後文所述，複雜物質對於土壤有重要的理學影響，現代研究未精，故僅能舉其極普通理解。一般，表層土壤內之有機物質其 80% 至 90% 係由現代植物造成。愈向下層，有機質成分愈少，而最下層內點點存在之有機物質，乃係與土壤本身同時植物所造成者。考近代植物所生成之有機物略可分為下列各類：

1. 未及分解，尚保持一定細包組織以落葉或其他落葉地被。
2. 正在分解中之落葉地被。
3. 分解生成物之溶於土壤水分者。
4. 決不可分解之物質。

(16—iii) 不可分解物質，對於土壤之肥沃度尚屬次要；惟彼等有一定之機械影響，故於特殊之土壤反應略為重要。尚未分解之落葉地被，覆於底土之面，而保護之



，且部‘部分分解’或‘正在分解’物質之來源；而後二者更爲可溶性之分解生成物之來源。

(16 iv) 落葉地被，已失去其細胞組織，而變爲部分分解，或正在分解中，遂形成混雜不定之團塊，而含有不揮發性的物質；係由細菌 (bacteria) 擔子菌 (fungi) 及酵素 (enzymes) 等作用於未分解之植物屍體而來。此團塊總稱爲腐植質，左右土壤之肥沃度甚力。其性質極易識別，與未分解之落葉地被迥殊。即：

1. 使土壤帶棕色至黑色。
2. 有游離土壤水分中營養鹽之伊洪 (ions) 之力。
3. 有疏鬆土壤之力。
4. 增加土壤之含水量。
5. 腐植質本身因土壤含水量多寡而膨縮甚力。
6. 腐植質雖隨時移去不能永存於土壤，然移去之進行甚緩；雖在許多土壤較在其他土壤中移去甚速。

#### 17. 供樹體吸收之物質。

The Absorption of Materials by Trees.

樹體構成必需之化學物質，其種類甚少；即必要之物質爲 $\text{CO}_2$ ， $\text{H}_2\text{O}$ 及溶液狀態之含 N, S, P, K, Ca, Mg,

及 Fe 鹽類。以上之鹽類必含 C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg, 及 Fe 十元素，始供樹木造成各種有機化合物之需；換言之，此各種有機化合物即樹木本身所由構成者也。各種物質必先溶於水分，始達到植物之細胞。（注 1）

注(1)：Palladin, W., Plant physiology (Edited by Livingston), Philadelphia, 1926.

(17—ii) 由人工培養基或化學分析，察得植物體內化學原素除富於揮發性，經燃燒而飛去，不能成灰之 C, H, O, N 外，必另有其他原素，所謂灰成分者；燃燒之後，仍遺留於木灰中，其重量約占燃前植物體純乾全重之 5%。木灰或草灰中，雖可檢出元素達三十種之多，然人工基培養之植物，供其正常發育之化學元素，不過六種，即 S, P, K, Ca, Mg, Fe.。

(17—iii) 除植物體需用最多之鉀磷兩元素外，其餘之重要灰化元素，概數其對於植物發生功效之量以為常。據最近研究，鉍及其他灰化元素之含有鉍者，若少量而以適宜之化合物狀態存在時，尚利於植物之發育；緣此各元素其滋養值與毒害值之界限極狹；縱令其可溶性之化合物，為植物生活所必需，若土壤含其構成鹽過量時

，遂生毒害影響。凡灰化元素有毒害作用時，必係其中某一元素之存在量甚多，致其他元素失效；結果，遂改變滲透關係或妨害生理的平衡；即如，含過量之鈣時，常使鐵失效，植物遂現「黃白病」Chlorosis 英 Chlorose 德）。

#### 18. 林分及農作物與灰分之關係。

Forest Crops and Farm Crops in Relation  
to the Ash Constituents.

林木要求灰分程度，與農作物不同。最近 Ebermayer 氏（注<sup>2</sup>）及其他學者，以為：「林木要求灰分之總量，僅為農作物要求灰分之半數。」因灰分雖蓄於林木之葉部，年中定期脫落，仍返還灰分於土壤。農作物則不然，體內所貯之灰分隨收穫而移去。兩者如此差異，故樹體雖歷年消耗土壤之養分，而落葉分解，恆在土壤內復造成有效之養分，以補償之，而林地遂漸肥沃。

注(2)：Ebermayer, E. W. F., Die Lehre der Waldstreu. Berlin, 1876.

(18—ii) 然林內落葉若連年掃去，有效灰分，遂漸減少，樹木生長量亦隨之低落。倘林分處理得當，灰分自然增加，殆不似農作物之必需施用人工肥料也。

19. 各樹種間要求灰分之差異。

Variation in Tree Species in their Requirements  
for The Essential Ash Constituents

林木要求重要灰分程度，隨樹種而異，雲杉類（*Picea*）較山毛櫸類（*Fagus*）由土壤攝取多量灰分，故造成樹體之木質部分亦較彼為多。闊葉樹（Hardwood 英 haubholz 德）中各山毛櫸類，槭類（*Acer*）樺類（*Betula*）及 *Carya* 類特含多量之鉀及其他必要之灰分，故由土壤攝取之灰分量亦多，始獲充量發育。迥非針葉樹中雲杉類樺類（*Abies*）及松類（*Pinus*）可比。

20 對於樹體利害不定非屬必要之灰分。

Ash Constituents Absorbed by the roots of  
Trees, which are not essential but which are  
More or Less Beneficial, Neutral or Detrimental.

除上文所述，樹體必要之灰分外，為其所攝取者，尚有利害不定或竟毫無關係之灰分。土壤所含食鹽，并非可供樹木之營養，不過偶然為根所吸入；而各樹種能堪土壤中之鹽分，各有一定限界，即其抵抗鹽害之力隨樹種而異也。多數樹種，植於僅含 2% 至 3% 鹽水之土壤中，立即枯死。食鹽之妨害植生多屬於物理的；因其

亦如他種鹽類溶液直接阻碍樹木之吸水作用。至於化學的危害爲：食鹽到達樹體，影響新「陳代謝」(Metabolism 英 Stoffwechsel 德) 土壤含過量食鹽使葉形退化，葉厚增加，柵狀組織伸長，細胞間隙退化(注1)

注(1)：Schimper, A. F. W., Plant geogography upon a physiological basis(English translation by Fisher), p. 83. Oxford, 1903.

(21--ii) Fernald(注2.)主張：岩石學的立地因子，限制捷克松(Pinus banksiana, Lambert. 拉丁 Jack pine 英)及美洲側柏(Thuja occidentalis, L. 拉丁 arbor-vitae 英)之分布區域。氏謂前者多生於沙地酸性岩石及酸性水濕地故稱其爲酸生植物(Oxylophyte)，然關於此樹分布之限制因子實爲土壤因子之一；彼於後者，則主張其最良發育及最遠之分布限於石灰質土壤。Newfoundland 地方，所以不見此樹之踪跡係受隣近大陸珪岩土壤之妨害。

注(2)：Fernald, M. L., Lithological factors limiting the ranges of Pinus banksiana and Thuja occidentalis. Rhodora 21 : 41—67, 1919.

(20—iii) 各種土壤及各種水分殆無不含多少碳酸鈣(

Calcium Carbonate  $\text{CaCO}_3$ ) 者。少量存在時，尙爲各種木本植物所能堪；因其有改良種種土壤物理狀況及中和酸性度之効，故其對於土壤雖非肥沃度關係，亦爲必要者也。然土壤水分中若含過量之石灰，則對許多樹種顯然不利。卽如，由石灰質土壤變爲沙質土壤或塩質土壤時，其樹種亦必伴之改變。耐碳酸鈣之樹種，體內新陳代謝作用，必受碳酸鈣之支配，構造上亦必多少發生特點。水濕地植物，雖遇土壤水分含極少量之碳酸鈣，立卽枯死，美洲東部之落葉松，最易感過量石灰之害。美洲皂莢 (*Gleditsia triacanthos*, L, 拉丁 Black locust 英) 之心材在缺乏石灰土壤較在石灰質土壤發育爲早。栗類在石灰質土壤時生長貧弱。而在缺乏石灰之土壤其樹皮發育或厚或薄——卽非尋常樹皮之厚。Hillgard氏 (注3) 研究石灰質及於樹形之影響，發見密士比河流域所生多種櫟類，在缺乏石灰地點，發育不良；在富於石灰質地點，則高大而樹形種種。且發見繁榮於石灰質土壤之樹體，較生於缺乏石灰質土壤之樹體內，碳酸加里 ( $\text{Potash K}_2\text{CO}_3$ ) 之量少而石灰 (lime  $\text{CaCO}_3$ ) 之量多。石灰豐富之土壤，似有延遲樹體吸收碳酸加里而促進其吸收石灰之力。

注(3) : Hilgard, E. W., Soils, p. 487, New. York,  
1906

(20—iv) 土壤水分內含過量溶解之鋅素 (Zinc) 時，危害各級植物之生命。又接近鋅礦或黃銅 (Brass 內含 Copper 63—73% Zinc 27—37%) 及其他鋅之工廠，飛散大量鋅粉 (Oxide of Zinc, ZnO) 於空氣，遇無水亞硫酸 (Suepherous dioxide: SO<sub>2</sub>)，遂溶解而滲入土壤，危及淺根性樹。(注1) 又土壤水分含蛇紋石 (Silicate magnesium = Serpentine H<sub>4</sub>Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>9</sub>) 此物與其他礦物成分極稀以過量存於土壤水分之內，故對於造林不關重要 (注2)。

注(1) : Toumey, J. W. Damage to forest and other vegetation by smoke, ash and fumes from manufacturing plants in Naugatuck Valleg, Conn, Jour. For. 19 : 367—373, 1931.

注(2) : Schimper, A. F. W., Plant geography upon a physiological basis (English translation by Fischer), P. 92, Oxford, 1903.

21. 樹木所需之非灰質的土壤成分。  
Non-ash Soil Constituents Essential

to Tree Lives.

大氣含淡成分雖達 $\frac{1}{3}$ ，然不能直接供樹木同化及吸收之用。因游離之淡素除經微生物媒介之力外，對於高等植物殆為無用。唯森林土壤內之淡素每以有機化合物，銨鹽（Ammonium salts），硝酸鹽（Nitrate）而存在時，直接間接可供尋常植物之需。除某數種樹木及植物，其根部有細菌組織之根瘤，特別發育外，其他尋常植物，均由土壤直接攝取淡素。

(21-ii) 大半森林土壤內，淡素以有機化合物態而存在；而此化合物係由落葉地被分解而來，必先經土壤細菌——硝酸菌（Nitrate-formers）——之作用，變為硝酸鹽，始堪供植物之攝取。有機化合物及銨鹽，常固定於土壤之內，且造成土壤內主要淡素蓄積，由此產生硝酸鹽。

(21-iii) 硝酸鹽造成之後，立破植物根所吸收，否則易被水游離，濾於土壤之外。結果，水濕區域，縱令其土壤如何肥沃，而含硝酸鹽之量恆鮮。

(21-iv) 動物質及植物質，雖均可造成土壤之有機化合物，然其本原，以植物質為主要。土壤殆無不舍，有機成分者，含量多寡為土壤肥沃度之要因。大部分之有



機化合物，富於變化性；即恆由生物死後屍體造成，又恆因分解而不見。有機物質多存於表土，至底土而絕跡，因此表土肥沃；底土雖具同樣之礦物成分，亦多礫瘠（注1）。

注(1) Karam, E., Bodenkunde, 2 Aufl., s. 127.  
Berlin, 1905.

## 22. 森林腐植質。

### FOREST HUMUUS.

森林腐植質並非一定之物質，寧可稱為複雜不定物質所成之團塊，極難明瞭之混合物也。具有膠質性，經 Baumann 氏（注2）及其他學者論之甚詳。

注(2) Baumann, A., Untersuchungen über die Humusauren. Mitt. d. Bayr. Moorkulturanstalt, Heft. 3, 52—123. 1909.

(22—ii) 林地堆積之落葉，枯枝，樹皮，木塊，總稱為「落葉地被」（Litter 英 Bodenstreu 德），受氣象支配後。遂變為腐植質。有機物酸化最終之生產物為 $H_2O$ ， $CO_2$  及  $NO_3$  等，其酸化路徑已臻完備，故稱此現象為「腐爛」（Mouldering）；而稱其酸化尚未完全，僅變落葉地被為簡單物質時之現象為「腐朽」（Rotting）。腐爛

與枯朽，常同時進行。

### 23. 腐敗之速度 RAPIDITY OF DECAY.

今以上文所述之腐爛及枯朽，合成爲腐敗；落葉枯枝之腐敗，最初進行甚速，枝葉落地之後立即分裂爲許多片段。由此變爲腐植質之速度，視礦物土壤之性質，及其與擔子菌，細菌之刺激或遲延作用接觸情形而異；最終分解，腐植質爲水分，二養化炭（Carbondioxide）硝酸化合物（Nitrogen compound）及若干礦質化合物，——此礦物化合物所謂灰分是也。因腐植質內之養分，經腐敗而游離；故腐敗愈速，土壤愈肥。

（23—ii）腐植質分解過速時——例如接觸石灰質土壤時——則土壤內之養分時而過量時而不足。反之，分解緩慢時——例如在寒冷區域元濕地，或在濃蔭之下——則有機質堆積甚多，其分解尙未完全，猶不能以可給狀態之養分，供給植物。

（23—iii）微生物爲腐植質分解之原動力；故分解之遲速受該生物發育條件所左右。此外界之發育條件，不問屬於土壤的或氣象的，必須利於土壤細菌，土壤擔子菌發育之狀態。此等微生物所需要者，除由有機質獲得食料外，尙有水分溫熱，空氣。故土壤內若存有某因子其

力足以阻撓水分溫熱及空氣之供給者，亦必阻滯腐植質分化之進行。（注1）

注(1): Hilgard, E. W., Soils, p. 379. New York, 1906

#### 24. 溫熱與腐敗。 HEAT AND DECAY

腐植質腐敗之速度，隨溫度之升高至增加，雖不能該括全部，至少亦在某限度以內為然也。試比較美國南方與北方森林即可證明此理論。北方林地之腐植層，及落葉地被層甚厚，造成所謂之 層（Duff）。在南方林地，雖有機質不絕的由落葉及其他落葉地被供給多量之有機質於林下，然堆積者反較北方為少。溫熱愈多，則落葉地被之腐爛枯朽亦愈速，幾乎其速度與落葉地被造成之速度相等。同理美國南部及西部斜面——傾斜地——所蓄之落葉地被及腐植質層較其北方及東方者薄。故林下庇蔭適當之林分較稀疏——經過間伐受光伐……者——之林分有稍厚之落葉地被層。過濕之土壤，較乾燥土壤，概有多量之落葉地被。惟其分解程度尚在種種不一致之狀態。溫暖區域或溫暖立地之森林其林下庇蔭亦必適當。寒冷潮濕立地林內射有充量日光，實因腐植之腐敗遲緩。所生之危害所致，故有時有賴於排水。

（24—ii）為促落葉破碎或促其多少酸化完全、微生物

所需之最適度氣溫比較稍高，此事說明暖地分解更速之原因。酷熱區域，經過除伐，其落葉地被玄即消失，使林地如被火災狀之裸現。

25. 水濕與腐敗。 MOISTURE AND DECAY.

水分缺乏，則腐植質之腐敗中斷。設空氣及溫熱狀況適當，則水濕供給愈大，則腐敗之進行愈速。土壤含水量甚微以致腐植質腐敗進行過緩之區域，常不發生林木。而常生於水濕足供腐植質腐敗之立地。然水分過量時，低減土壤之溫度，且不容空氣存在。又水分過多時，因之減少養氣供給量，遂減少「空氣細菌」(aerobic bacteria)之活動。故腐敗進行以適度水濕為最良，過多過少，均影響落葉地被之分解也。

26. 空氣與腐敗。 AIR AND DECAY

設土壤內之空氣完全排除時，腐植質之腐敗作用遂中斷，故凡引起隔斷土壤微粒內空氣自由循環之任何因子，一方使腐敗中斷，他方更引起「泥炭地」(Peat)之造成。過度之水分，為使通氣不完全之主要因子。

27. 礦鹽與腐敗

MINERAL SALTS AND DECAY.

腐植質之腐敗，以在石灰質土壤內為最速，Hilgard

氏(注1)謂：『石灰質於促成有機質轉變為黑色中性腐植質，及存於腐植質中淡素之凝集效力最大。』

注(1) Hilgard, E. W., Soi's, p. 379, New York 1906.

28. 有機物質之特性與腐敗。

THE CHARACTER OF THE ORGANIC  
MATTER AND DECAY.

植物體之柔軟部分較其木質化(ligneous)部分腐敗速。即富於柔組織之葉，速於堅硬組織者；而含淡素多之部分，速於含淡素少之部分。葉之富於臘(Wax)脂(resin)及單寧(Tannin)者腐敗遲。故如松柏類(Coniferous)之針葉，一部因其富於松脂之特質，故其腐敗慢於闊葉樹之葉。普通，闊葉樹之葉經二三年即可變為腐植質；而在多處立地，針葉樹之葉需經三四年，甚至特殊環境之下需七八年之久，始能變為腐植質。

(28—ii) 恆決定腐敗速度之條件為：林分之形勢，(Aspect)林分之特性；林冠(Canopy)之疏密，土壤之特質與狀況，有機物質之特性；及氣候。

29. 腐植質及於森林植生之影響。

Effect of Humus on Forest Vegetation

腐植質直接間接影響於森林植生。——直接影響為

供給森林以多量之營養分；間接影響為由其及於礦物土壤之理學作用，及其供給食物於土壤生物；此生物直接間接再支配森林植生是也。要之：腐植質須在一定適量，始於森林為有利也。

30. 腐植質為營養物來源之一

HUMUS AS A SOURCE OF NUTRIENTS.

腐植質為供給灰分及非灰分營養之本源。葉及其他落葉地被體內之礦物質，因落地後而返還於土壤；經腐植質分解遂復為可用的狀態。當腐植質造成，其分解作用遲慢時，其最終結果必與經火災後同樣，僅留灰質營養分是也。抑森林火災燃燒及於落葉地被及腐植質，猶不能損失灰分少許，反促灰分一時立即供給於土壤，必不待經過自然之長期以後也。如此灰分常返回於土壤，於維持土壤肥沃度，實為必要，尤於土壤之缺乏一種或多種灰分時，更屬重要。故生於缺乏炭酸加里（potash）土壤之植物，幼時對於闊葉樹灰分之刺激，覺感敏銳。森林苗圃（Forest nurseries 英 Kamp 德）常由施用闊葉木灰以改良之。

(30 - ii) 樹木生活除灰分為必要外，樹體常有非灰質成分。非灰質成分，含有炭素，養氣，淡素，及輕氣；概

經燃燒變為氣體而飛去——如二養化炭，水蒸氣等。炭素係植物藉光合作用由空氣中之二養化炭獲得者；輕氣及養氣主由水分或有時由空氣，各種鹽類，及酸化物獲得。以上炭輕養三元素，在自然界以有效狀態存在頗多，無須就土壤肥沃度研究之。淡氣則不然，多以硝酸鹽之狀態為植生所攝取。腐植質內之蛋白質，經分解而造成阿莫尼亞及硝酸（Nitric acid）。淡氣之大部分概以各種有機化合物形狀而存在。至於此等化合物內容如何，則迄今未明；有具酸類（acid）之特性者，亦有具中性者。然不拘其狀態如何，恆於土壤內，經硝酸菌（Nitrifying）

31. 樹林所需之淡氣 The Tree's Requirement for Nitrogen——森林經營適當時，則大量有機物質，逐年自能返還於土壤；故林地缺乏淡氣，為極少之事。縱令經營不得當，亦不改某種元素，急劇消失，或立即影響森林之生長。且淡氣之消失，非似灰分，一經燃燒立即飛去者。惟森林發生大火災時，銷燬淡氣之來源，故影響土壤之肥沃度。屢次之森林火災或逐年移走落葉地被，以致林地內每年淡氣成分退減以至為法正狀態之半，或其四分之一。土壤肥沃度所受火災影響，與立木蓄積

## 172 國立北京大學農學院森林立地學講義

( Standing crop, 英: Holzvorrat 德 ) 周受火災影響，等量齊觀；其損失均有待於調節。西洋人每於夏令，在森林內設野營；及東方細民在林內採取落葉枯枝，皆是減退土地之肥沃度。

31 - ii 凡落葉地被移去之後，樹木各個之發育及林木之總產量，立即減退；蓋落葉地被，為造成腐植土之本源，今腐植土既不能如量造成，是土壤內之有機物質，有失而無返，殆與農業之有待施肥同等矣。

32. 林地有效淡氣之來源 Sources of Available Nitrogen in Forest soils —。有林地方，較無林地方，土壤內保持多量之淡氣，尤以植物體尚未枯朽之森林土壤為然。此因林冠被覆地面，故淡氣失去者少，而由落葉取得者多也。願森林何以能凝集淡氣，則須先知淡氣而何處而來及因何而失。

32 - ii 淡氣由下列情形，以有效狀態達到土壤：

1. 由有機物質之腐敗，即腐植質之造成與分解，以入於土壤；
2. 由降水內溶有淡氣，以入於土壤；
3. 由空氣內淡氣之游離，復被以下作用凝集為有效狀態，以供植物需要；
  - a.) 為一定植物所凝集；



b.) 爲微生物分解作用所凝集；

c.) 淡氣與礦岩化合時所凝集；

土壤中之淡氣因以下狀況而失去：

1.) 植生之移去，卽不待其自枯於生長之地方，而預先移去；

2.) 由於土壤之澆過及排水，致森林不能充暢發展；

3.) 有機物質腐爛時，一部分之淡氣，返還於大氣。

32—iii 伐採森林，雖消失林地一部分淡氣，究不若農作物收穫後，消失土壤內淡氣之多。因林地平時，承受多量落葉枯枝；腐敗後，造成土壤內之腐植質；雖移去枝幹，其影響殊少也。平均每伐採森林一英畝，則每年由土壤僅消失九磅重之淡氣。（註一）約與由降水獲得淡氣之量相等。因落葉地被分解，返還於土壤內之淡氣，每年每英畝由二十七磅至四十五磅。此即森林植生賠償其生長時，由土壤攝取淡氣之量。然此却非應償還之總量，即因伐採之植物體，不待其精爛，而被移去，故由所攝取於土壤之淡氣總量，必多於僅由一部落葉枯枝返還之量也。且植物腐敗時，將其生活時由土壤攝取之淡氣，游離撥入空氣者，亦佔去一部分。

註1. Eiplmaier, E. W., Die Lehre der Waldstreu.  
Berlin 1876

32 iv 林地急速增加淡氣量，僅由假想說明之。

即植物發育之結果，凝集大量游離淡氣，且使之變為有效狀態。尋常森林土壤中，由根瘤內淡氣菌發育過程，僅能凝集少量之游離淡氣；而此等根瘤，多生於豆科植物之根部。然土壤內淡氣量急劇增加時，則生根瘤之植物本體，遂際消失。Henry 氏（註1）試驗結果，證明：枯葉及其他林地落葉地被，若積於下層之腐植質土壤以上時，則能凝集大量之游離淡氣。乃由落葉地被內微生物之功，似非落葉地被本身所致也（註2）。

註1：Henry, E. Les sols forestiers. paris, 1908.

註2：Duggar, B. M. and Davis, A. R., Studies in the physiology of the fungi. Ann. Mo. Bot. Gar. 3: 113, 1916.

32 iv Moller 氏（註3）發表；多數林木根部所生之菌根（mycorrhizas），似無凝集游離淡氣之能力。氏分別有菌根及無菌根，培養歐洲山松（European mountain pine 英名 *Pinus montana*）結果，決定：棲於山松內之細菌，決不能凝集淡氣，以賦與宿主。Mc Dougall 氏（註4。）研究林木，不論常綠樹或闊葉樹，從來證明其樹根之菌根，有凝集游離淡氣之功能。

註3: Moeler, A., Mycorrhizen und Stickstoffnahrung. Ber. d. den. Bot. Ges. Bd. 24, s. 230, 1906.

註4: Mc Dougall, W. B., on the mycorrhizas of forest trees. Am. Jour Bot. 1: 51—74, 1914. Symbiosis in a deciduous forest. Bot. Gaz. 73: 200—212, 1922. Mycorrhizas of coniferous trees. Jour. For. 20: 255—260, 1922.

32—v Melin 氏 (註5.) 最近充分研究樹木之根菌 (Mycorrhizal Fungi), 及其在營養 (nutrition) 上之功用。由彼之研究, 證明: 針葉樹之真菌根, 僅見於優良土壤之粗腐植質內; 至於中性之腐植土壤, 則彼之存在甚渺, 或竟不存在。Melin 氏用純粹培養法, 證明以下各屬植物之某數種, 發生菌根; 即以下各種為菌根之發生者。

Beletus, Amanita, Russula, Lactarius  
Cortinariarius Tricholoma

氏以為許多之土壤菌 (Hymenomycetes), 多為菌根之發生者。然彼等宿主之種類, 亦各不同。如某數種僅能生於少數種之樹樹, 其他各科, 則兼生於異屬之樹種

。氏經過三年間之充量實驗，遂結論：『林木及細菌，係互為共生。然一般共生，未必兼利於林木及細菌。柔弱植物體，最易被寄生根菌所侵入而被害。菌絲充分發展於樹根，一部分伸入根之細胞』。

註5：Melin, E., Untersuchungen über die Bedeutung der Baum mykorrhiza. Jona, 1925. Studie over Bartrucksplantans utveckling i Rahumus, Medd. f. Stat. Shogstorsoksanstalt, 11:23 Stockholm, 1927.

32—vi Melin's 氏試驗，證明有菌根之樹根較無菌根之樹根，吸收淡氣化合物更速。彼發見樅及松之菌根，在混植物性土壤發生絕少，或竟不發生。惟在粗腐植質內，則發育豐富。氏主張在混植物性土壤內，因淡素已多用於造成硝酸鹽，遂不能再發生菌根。然在針葉林下之粗腐植土壤，因硝酸鹽稀少，其淡氣遂常為無效狀態。且因根菌及其宿主樹木，大概有關於粗腐植質內淡氣之儲積，故菌根可吸收 Amonia 及其他不能為無菌根之樹根，直接攝取之淡氣化合物。

32—vii 然菌根不能在任何粗腐植土內，等量發育。若淡氣化合物分解微賤時，即如在許多泥炭地內，菌

根發育微弱，植物體遂感淡氣缺乏。因之，菌根似為生於粗腐內樹木之生活要素；蓋樹木依之以營營養作用也。故在粗腐植地之林業，務促菌根之造成為必要。即設法促進粗腐植質之分解，即可達此目的矣。

32--viii Kissell 氏（註1）發現，若在澳洲西部成立針葉森林苗圃，倘前此未經繁殖針葉樹，則初次播種必無效。即播後雖亦萌發。但苗高達一英寸或三英寸以後，遂停滯而不再發育。惟農作物在此等土壤，尚能繁旺。於新開苗圃內，易以他處多年設立之圃土，使與新圃之土壤混合，則生物因子齊備，不患前述播種之遲延生長矣。旋於 1925 年六月間，於向來培育針葉樹之苗圃立地，播種 *Pinus insignis*；雖注意經營，結果苗幹纖弱低矮，無成材之望；其中一部分苗床，略撿以成熟之客土，再撒播種子，結果苗形顯著強大，為培於原土苗木之三四倍。

註1：Kissell, S. L., The dependance of certain pine species on a biological soil factor. *Empire Forestry Journal* 6: 76--74, 1927.

33. 腐植土及於森林土壤之機械的影響 The Mechanical Effect of Humus on Forest Soil. — 腐植質

對於土壤之機械影響，最爲必要：第一：腐植質微粒深入礦物土壤，而與之攪混；第二：由於腐植質及落葉地被堆積於地表。礦物土壤內，混有腐植質微粒時，由種種方法，支配土壤理性；尤以支配土壤空氣間及土壤水濕間關係爲然；又支配其攝取礦物養分而保持之，使免於流失等等作用上最爲重要。森林土壤，由理學見地，因含有腐植質而被改善。即爲腐植質能凝集過於輕鬆之土壤，使之易於吸收保持多量水分。又如腐植質能疏解過於粘重之土壤，使之易於透水及空氣。腐植質有強吸水性，故能凝集大量之氣體濕氣；因之，當土壤天然乾燥，大氣濕潤時，則腐植質爲居間之必要因子。在粘重或其他固結土壤時，腐植質調解土壤，使根得向垂直及水平方向擴張。

34. 森林土壤內腐植質之種類與成數及其與樹木生長之關係— Kind and Amount of Humus in Forest Soil and their Relation to Tree Growth

因腐植質內有機成分分解之等級，及腐植質成因之動植物種類，而腐植質間，彼此遂有極大之差異。林冠以下，落葉地被層含有枯枝落葉，混以非木質化之雜草

故林內更用利於腐植質之正常造成。

34—ii 一般灰色土壤型 (Podsol type), 以含粗腐植質爲其特性；而存於濕潤區域；其處之可溶性鹽，由表土流失；且其處氣溫低下，遂妨碍有機質之分解，故灰色土壤富於酸性。且其處之鹽類，因膠質性關係而被消失或還元爲酸化物 (oxides)；有機物之堆積，僅由局部分解所誘起——尤以腐植層爲然，——故除在極惡環境之下，能受菌根之媒介外，灰色土壤內之營養物質，殆爲多少不可用之狀態。此等土壤區域，森林之發育，視土壤內有機質分解之程度及所含營養物有效性之大小，顯然優劣不一。雖然，灰色土壤中所堆積之有機質，概較褐色泥植土壤型 (Mull type) 爲多。針葉林爲灰色土壤之表生林 (或據一種 characteristic)，然在特殊情形時，則發生許多闊葉林。

34—iii 模式褐色泥植土，有種種之不同的腐植，存於濕度變化極大之各區域。然概以氣溫高，有機質分解迅速爲存在條件。尤以腐植質或所含有效養分，分解更速爲然。在此土壤中，石灰鹽雖易被洗滌，而其他鹽類——如含鐵 Fe 鉛 Al 等——則多保留於土壤之內，在此土壤層之縱斷面，其上下各層色彩逐漸變化，由此

色以移入彼色。有機質隨混入土壤，而立即迅速分解。至於銜接部分分解落葉地被層以下之處，常有一薄層之褐色混植土。又因褐色土內，土壤內營養物多為有效狀態——尤其是淡氣——故為其他立地條件適當時，則森林之發育優美。闊葉林為褐色土壤之表性林（或據一種）然有時被以定期優美之針葉林。若針葉樹以純林存在時，則土壤亦將由褐色混植土變為粗腐植土。兩者各有表性之特殊植物。即酢漿草 *Oxalis*，白頭翁屬 *anemone*，為褐色土壤之指據植物；？石南屬 *Calluna*，白珠樹屬 *Gaultheria*，為粗腐植土之指據植物。

34. iv Muller 氏（註 1）充分研究丹麥國林地之各種腐植質型。於山毛櫸林內，認出兩種腐植型，彼稱之為混植土(Mull) 及泥炭土(Torf)。混植土深僅數英寸，其下銜接厚薄不一致之淺色疏鬆土壤；惟此等淺色土壤中，所含有機質，大致均勻；再下層接以更緻密而缺乏有機質層；唯其疏密度尚容根之充分伸張。混植土之表面，銜接未分解之落葉地被；層內蚯蚓蕃殖甚多，無酸澀，其中 5%—10% 之完全分解有機質，與礦物土壤深切混合。泥炭土則不然，其表層植生完全異於混植土，即在落葉地被下之土壤含多量未分解之有機質



，顯然未與礦物土壤混合，故呈酸性。

34—v 山毛櫸林地之泥植土及泥炭土間，雖性質各殊，且各被以不同之表層植生；惟二者之分佈，非關礦物土壤之性質。故有時同一土壤，在某一期間為泥植土，在他一期間，則為泥炭土。其原因乃繫乎土壤內生物之性質也。一般，蚯蚓誘成泥植土，而細菌則誘起泥炭土。地表植生之性質，若達到某程度時，足以決定由蚯蚓繁殖區域變為細菌繁殖區域；其結果，由泥植土變為泥炭土。細菌雖盛行於酸性土壤。然在特殊情形時，亦能繁殖於酸性，中性或加里性反應之貧弱沙質土壤。

腐植土之泥植土壤形式有下列特徵：

1. 淡氣常落由落葉地被層而成者，係連續的而急速變為硝酸鹽；
2. 環境內水濕關係最適當；
3. 風化最速且最適度。

特殊立地，除去氣候因子以外，其最適於泥植土造成之因子，為：

- 1.) 石灰質之存在 石灰質可中和土壤之酸性，及使腐植植物為毛狀團塊。然泥植土壤之

形成，不關於石灰質之存在或酸類之缺乏。在特殊情形，石灰質亦為酸類之存於腐植土。

2.) 落葉地被之性質，為構成混植土壤必要之因子：即闊葉樹落葉地被，多向混植土變遷；而針葉樹落葉地被，則傾向粗腐植質變遷。若針闊葉混合地被，則利於混植土之形成，而妨害粗腐植質之成立。

34 vi 缺乏石灰質而又無蚯蚓作用土壤中之腐植質，——如美國南部之針葉林地——特稱為軟土 (Mold) 或園土 (Gartenlede)，此土與其下層之礦物土壤間，界限明瞭。

在美國北部地方及該區域偏南部分，腐植土多為粗腐植形狀。此乃僅由局部之軟土及腐敗之苔類落葉枯枝遺跡所成。其異於一般森林軟土者，僅變遷緩慢而已；因此常堆積極厚。按 Hesselman 氏主張，則酸性并非此等粗腐土內減低林木生長產量之最要因素，寧可謂酸性土壤缺乏通氣 (aeration)，及淡氣變性極端緩慢，以致不利於植生。因之，粗腐植質不利之點：亦由於礦物養分向有效狀態變化緩慢，必較謂為缺乏礦物養分之說為洽

當地。

34 VII 存於湖底或其他濕潤地方之腐植形式，若由混植土所成者，特稱為軟泥 (Ooze)：若腐植質在水中造成而富於沉澱之鹽類，殆排水後為粥狀者，特稱為溜泥 (Mud)。若水分過賸，植物體漸漸堆積甚厚，則造成泥炭地 (Peat)。泥炭地常見於寒冷區域。大凡水分過勝之土壤——如沼地 (Bogs) 及湖床，——因缺乏養氣堆積之植物遺體，遂不能分解，而形成泥炭地。然植物體非盡能形成泥炭地者，惟具有堅固組織，而又不易腐爛之植物體，多數叢生時，始為泥炭地之形成者。最普通者水蘚類 (Sphagnum)。富於不完全分解植物體之泥炭地，為林業上各種土地中之最瘠惡者。

34—VIII 當土壤內水分過賸，而奪去其養氣，故微生物之活動大受限制，於是其結果植物體之分解不完全，有機物漸漸變為泥炭土。養氣之供給愈受限制，則炭素堆積愈速，且游離之酸類化合物出現亦愈速。泥炭地為富於炭素之酸性腐植土，呈淺深不同之褐色；含石灰極少或竟不含石灰；雖少量之加里 (Potash)，或再少之硫酸與 alkali 化合，成為可溶性鹽而存在，然以後漸漸消失。若泥炭地曝露於大氣，蒸去其水分，遂失去其

酸性漸變為軟性的腐植土，利於林木之生長。

34—ix 泥炭地所含有機質，其中植物遺體約可達90%。泥炭地為各種土壤中吸水力最大者；當乾燥時，為各種土壤中重量最小者。氣乾之泥炭土，含水量由15%至20%；由此再加水分，則體積膨漲，乾則裂碎；殆十分乾燥，遂極疏鬆變為粉末狀矣。

34—x 因泥炭土為暗色，故晝間吸熱及夜間放熱均速。彼雖能吸熱，然因含多量水分，故常感寒冷。

34—xi 土壤內水分過賸，固妨害養化之進行，然水分不為過賸亦有形成粗腐植土者，所謂高地泥炭土（Upland peat）是也。此種粗植土，係由種種不完全分解植物遺體——根，根株，葉，枝，蘚苔，等——混合攙存於土壤之表層淺白色。菌絲伸入其中；如此之組織稱為 Mat。因樅類上根密布如席狀，故此種土壤，常生於樅林之內。此種土壤，復由其組成粗腐植質之主要成分，按樹種而定名；如山毛櫸粗腐植質，樅類粗腐植質，松類粗腐植質。高地泥炭土，常由低氣溫及濕潤大氣所促成。又因其形成強硬厚層，被於礦物土壤之上，故排除其下層土壤之空氣。又具有吸水性，強硬如海綿，且呈酸性反應。由軟性腐植土變為高地泥炭土時，則同時

形成之酸性化合物，遂與植生之根交互纏綿於表土；斯時土壤固結，蚯蚓亦不存在。

34—xii 高地泥炭土，多少爲害於林木之生長。然十分破碎與礦物土壤攙混，且受露天化時，遂爲植物食料有效來源之一。Moller氏（注1）主張；「最不良之粗腐植土，若經過改良時，則變爲最良之肥土。」

注1：Moller A., Demonstration und Vortrag im Versuchsgarten der mykologischen Abteilung, Zeitschrift f. Forst- u. Jagdwesen, S. 330—332, 1912.

### 35. 森林土壤之酸性度

#### FOREST SOIL ACIDITY

許多森林土壤，爲酸性時，得加石灰以中和之，已爲世人所習知；又多種植物及林木，在酸性土壤不能生長，除非加以中和劑後，如石灰等，始堪供造林之需，亦爲吾人所深知。故吾人常見酸性土壤區域，倘其中之雜草，曾被焚爲草灰，則所生之植生，與未焚區域植生之種類顯然不同；此亦因草灰有中和酸性土壤之力也。不唯草灰石灰得以改良土壤，卽土壤微生物，亦爲土壤肥沃度所必要，其各種間對於土壤有相反之影響，如 *Azodo-*

bacter 及其他微生物，尤應注意考察。

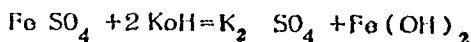
35—ii 關於土壤酸性度之性質及其誘因之具體論文，不能解決此種複雜問題。據最近研究，酸性土壤之成因，至少由於以下兩種原因：

- 1.) 土壤內缺乏鹽基，故不能發生吸著現象 (Adsorption)。而土壤膠質性，其於電離所生之鹽基根吸著性，大於酸根吸著性，故使土壤呈酸性反應。
- 2.) 一定條件之下，真正酸類自然存在。

35 iii 一般，任何土壤自然存在之水素伊洪之濃度，如大於蒸溜水內水素伊洪之濃度，即為土壤內酸類存在之明證。按照 Russell 氏主張，則此等酸類如有機酸或為硅酸或由鹽類電離而來。此等酸類，雖因其不利於土壤微生物，遂顯然不利於森林之發育；然另一方面，則酸類本身，對於土壤並無劇烈之直接危害；所謂酸性土壤 (acid soil) 不利之點，乃由此種土壤內缺乏鹽基所致也。即如酸性土壤內缺乏石灰質，不但予森林立木以惡影響，且對於土壤內微生物亦然。許多有毒性鹽類如鋅鹽及其他金屬鹽類，——經石灰質改良後，則失去其毒性。粘土內缺乏石灰質時，則團塊分散，不易

通透水分及空氣，對於林木之生長極為不利。然須知土壤之適當酸性，於森林植生為有益。故許多針葉樹不能生於鹼性土壤，因土壤內有效鐵分鹼化而游離。

按：硫酸鐵遇鹼化鉀則生硫酸鉀及二氫氧化鐵。



36. 林地內盆地土壤型與酸類存在之關係-The Relation of "Pan" Formation in Forest Soils to the Presence of Acids.

盆地土壤型，為特殊條件下，逐漸成於深淺不同土層中之極難透水層。一經造成，由其截斷上下各層水分空氣之流通，限制變遷水分之運動，劇烈影響森林植生。當天氣乾燥時，此層阻斷水分之下滲，及毛細管向上吸引水分之力。結果，則盆地以上之土壤，對於森林植生，非過於乾燥，即過於濕潤而不適度。此外猶妨主根之發育，增加風倒之危害。真正之盆地，自地表達十八英寸深者，使一等地位變為三等地位。如欲減少盆地對於森木之危害，最效方法，為由極密之間隙破碎此不透水層，如此，則土壤內之水分，可以平均分布，空氣亦可較易流通，根之伸張亦可稍深。

盆地常見於英國北部之灰色土壤 (Podsol)，及南方海濱平原

，其處以美洲水松（*Pinus serotina* 拉丁 pond pine 英）

為唯一之普通林木。

36—ii 說明林地內盆地形成之一般條件為：

1. 有機物質充分供給；
2. 缺乏石灰質；
3. 滲透力大，礦鹽不易溶解。

此外利於盆地形成之各種結合條件，最顯於輕沙質土壤，即天氣或其他條件，皆令水分浮存於表土。盆地亦見於被有厚層粗腐植土之沙地。盆地所在土壤之上層，如為粗腐植質，恰在其下層者，如為砂土，則沙土由二二英寸至十英寸之深內，缺乏有機物質或可溶性鹽，而失其顏色。此漂白之砂層，固着於厚薄不同之岩石狀層，此層即盆地也。盆地雖與其下之沙層密接，但二者間顏色顯然分明。盆地顏色雖有種種，由淺紅色以至近黑色，然以各級之暗微紅褐色為最多。盆地厚薄不一，由極細之條紋，乃至一英尺以上。一經考察，不難看出其由細砂微粒固結而成。然由此向下較遠之砂土層，決不似與盆地銜接砂層之無色，固結，反不透水分。盆地雖常見於海岸，內地砂灘，尤其是寒冷區域，然亦常見於酸性黏土。按 Skeen 氏說（注 1）則黏土之 pH 反



應值，減至界於 4.95 及 4.70 間，則形成盆地。故土壤是否能造成盆地，似有其一定界限 pH 值；此值減低至此界限，則盆地成立，超過此限界以上，則盆地不能成立。

36--iii 說明盆地，雖有許多假說；據最近輿論，似以其為土壤膠質性之結果，較以其為化學作用結果為恰當。故易於造成盆地之土壤，必其粗腐植層已被雨水濾過，致洗去銜接於其下層之膠質性。此等膠質性，藉吸著作用，減少系（Horizon）內之鐵分，及其他鹽基。因挾帶堆積物之水分，由此系流下；所餘之土壤，遂增加酸性度。許多學者，遂以此為堆積於再下層際之原因。膠質性物與其所含之鹽基，堆積為難於溶解之雜色物質，有束縛土壤微粒，使之互相結合之力。若此物質過於堅固，即成為盆地。然須分清如此表性（即固結性）之盆地與較此更深固結之系不同，後者在表土以下一英尺六英寸乃至二英尺六英寸以下之處。在某型之森林土壤中，此系最為豐富；其層之厚薄不一，亦係充分不透水性，隔斷水之自然滲透。

36--iv 農作土壤中，有某種盆地（或堅密層），係純田機械力造成者。即因歷年耕表土，常達一定深度

時，必致其銜接之下層，愈變堅固，形成與盆地相似不透水之畦底（Ploughsole）。此盆地在地表以下，由十五英寸至三英尺之處，——見於美國西部年雨量大之地方，——層厚八英寸至一英尺六英寸；具石灰質土壤性，含少量黏土及多量之無機碳酸鹽，養化鈣等。然除另參以他項作用外，則有時土壤之石灰性不能說明盆地。惟在水分通透性一定條件下，由黏土膠質性之濃度，及底土中之碳酸鹽，足以說明之。

37. 森林土壤中之微生物及其與土壤肥沃度之關係。 *Micro-organisms in Forest Soil and Their Relation to Soil Fertility.*

森林土壤內，棲有種種之微生物。此等微生物及與之共生之生物，對於森林植生之生長及生存，有直接關係。其生存之主要條件，不但包括包括空氣水分，適當之氣溫，及毒質之消失，尤須有充分之食料，俾資發生能力。而土壤內之有機物質，即為取得能力之來源。

37 - ii 微生物所需之營養，大致亦如森林植生所需者。二者主要之區別，為土壤微生物，——除藻類外——恃土壤內之有機物質，以維持其生活力。此等微生物，或利於森林或危害森林；有直接作用於森林者，

亦有間接作用於森林者。故有寄生菌，病源菌，水枯菌（damping off fungi），其生菌生於豆科植物根瘤之退化菌（bacteriodes）。此等菌類亦如生於松，山毛櫸及其他樹根之菌根，直接作用於樹木或其他植物。

37--iii 然重要之土壤細菌，概間接作用於森林植生。此類細菌，使土壤發生變化，間接予森林植生以深刻廣大變化。彼等雖不一定生於林木之根內或與之密接，然多量存在時，足以決定土壤內營養物有效等級之高下，結果決定森林植生之生長量及其生長勢。卽如 *Azotobacter* 菌變無效淡氣爲有效狀態。

37—iv 常見於上層土壤數英寸深處之某數種藻類，藉二養化炭同化，亦能儲蓄能力。又此等菌類，直接，或因與某種細菌共生作用，間接參加凝集游離淡氣（注 1.），亦經相當證明。又依 Harrison 及 Aiyer 氏（注 2.）研究結果，似乎藻類對於「同化炭酸」，排除養氣之沼土，亦有特殊功效；卽藻類使沼土變爲有效狀態，以供根之利用。其功效達到某程度，可妨止土壤變爲酸性。

37—v. 森林土壤之不完全菌區系（fungus flora），概限於表土上部六英寸深以內。菌類似乎能堪土壤內

濃厚之酸性度，此則異於其他土壤生物。彼等主由有機質內之纖維素（Cellulose），攝取能力；且彼等爲此纖維素分解時必要之因子。生於森林土壤各種細菌中，最豐富者爲各種青黴（*Penicillia*）及白黴（*Mucorales*）。至於除去促進有機質分解外，對於森林植生，更有最大影響者，爲 *Fusarium*, *Aspergillus*, 及 *Cladosporium* 等。其中某數種，爲幼苗水枯病之主要病原菌。至今日已證明：除少數例外，細菌概無凝集氣體淡氣之能力。（注 3）因其可以破碎纖維素，故其中某數種，爲腐植質之主要造成者。

注 1: Frank, B., *Über den experimentellen Nachweis der Assimilation freien Stickstoffs durch erdbodenbewohnende Algen*, *Ber. Ges. s.* 34, 1889.

注 2: Harrison, W. H. and Aiyer, S., *Gases of swamp rice soils*. *Pusa. Mem. Chem. Series*, pp. 1--17, 1914.

注 3: Dugger, B. M. and Davis, A. R., *Studies in the physiology of the fungi*. *Ann. Mo. Bot. Gar.* 3: 413, 1916.

47—vi 森林土壤內之細菌區系 (bacterial flora)，亦有利害參半者。即如某數種細菌，在土壤內產生毒害於森林植生之物質；其他某種細菌，則同化淡氣；因之減少土壤內對於林木有效淡氣之供給量。要而言之，土壤細菌，就其為有機質分解及變土壤內淡氣成分為有效之硝酸鹽之主要因子論之，則於森林植生為有利。有機物質分解，及硝酸鹽造成兩者進行之遲速，於決定有效養分量之多寡上，均為必要；土壤細菌之活動力，與林木生長率間，有密切之關係。然 Russell 氏 (注 1) 所述土壤情形，以為一般：

- 1.) 微生物活動力與土壤肥沃度之間，有時不顯任何關係。因土壤肥沃度，除淡氣供給量及變為有效速度外，尚受其他數種因子所限制也。
- 2.) 若細菌及植物，兩者受同一限制因子所支配時，則細菌之活動力，亦可直接關涉土壤之肥沃度。惟此種關係，乃係偶然者。
- 3.) 細菌活動力，亦有直接影響土壤肥沃度，而為其主要原因者；即土壤肥沃度，受細

菌所生成硝酸鹽及阿莫尼亞量之限制，或受細菌即左右其他分解物之限制。

37—vii 造成土壤酸性能度之條件，足以減少土壤細菌之繁榮。結果能減低土壤內銜化（Aminouifying）及硝化（Nitrifying）之能力。故加里鹽使土壤細菌之活動惡變。

37—viii 組成土壤生物社會之生物，其數目之水平線，隨便被於土壤微粒外部腐植膠性，有效之力量為依違。換言之，即生物數目不達某種水平線時，不能形成土壤內微生物社會，而此數目之多寡，則又視利於腐植膠性之某種能力大小為轉移也。增簡單物質於土壤，固利於簡單微生物羣之增殖；若將腐植質分解之複雜有機物質，增於土壤，則利於許多微生物羣之增殖。所增物質，不祇供給土壤生物社會以能力，且同樣利於此社會中各級微生物。

37—ix Stoklasa 氏（注 2）最近努力於土壤通發時，（尤其於接近地面大氣層內二養化炭增加時）細菌之作用。因一定光強之下，光合之速度，隨接觸葉面大氣內所含二養化炭量為轉移。若此  $\text{CO}_2$  之量增加）則其同化作用亦隨之增加；結果森林植生之生長量亦隨之

增加。氏更發明：土壤細菌以化學力變不溶性或不溶性鹽類爲可溶性化合物，以利林木之取用，爲其更進一步之作用。故由微生物蕃殖所增之能力，造成土壤內有效淡氣，磷，及加里。

注 1: Russell, E. J., Soil conditions and plant growth, p. 268. London, 1921.

注 2: Stoklasa, J., The significance of bacteria in soil productivity. Proc. Inter. Cong. Soil Sci. Wash., 1927.

37 - x 統計森林土壤內動物生活之狀況，發現微生物界內線蟲動物及原生動物；線蟲向根內伸張，故顯然有害於植生。原生動物多量於森林土壤；爲供給森林土壤以有機質之最普通者。但其存在量，則日與日異，季與季殊。據最近考察，原生動物社會，似危害於土壤細菌；惟原生動物達如何程度，始影響有機質分解作用，則尙未明瞭。

### 38. 土壤之組織與其肥沃度

Soil Structure and Soil Fertility.

土壤或僅由簡單微粒，或由複雜微粒構成，後者稱爲塊狀或顆粒狀組織。此種情形，形響於肥沃度甚大。

實際上，凡良好之林地或農地，簡單微粒，概不占主成分。土壤組成差異之主要理由，乃在以下各點；(a) 含鹽類多寡，——尤其是石灰質；(b) 土壤之溫度；(c) 土壤內生物因子如何。

38—ii 石灰質及許多鹽類，使土壤內膠質結為小團塊。換言之，即使各土壤微粒互相結合為小顆粒。粒與粒間，存有不規則之間隙。土壤內石灰質愈多，則土壤組織愈成顆粒狀。惟所有各種鹽類，概不利於此顆粒之成立。故鈉鹽或鉀鹽過量時，經電離發生過量之OH<sup>-</sup> 伊洪，此伊洪妨礙微粒之集團現象。例如加里性土壤是也。森林火災時，由灰分所來之鉀鹽，若就土壤構造見地論之，則不利於鹽基性土壤，反利於酸性土壤。

38 iii 凍結使土壤內之水分結晶，多少分結晶間之土壤為密結之團塊。

38—iv 土壤內各生物，其促成複雜微粒，使為碎屑狀況者，首 蚯蚓之力。昆蟲及其他動物，亦多少有此作用。

38. v 土壤顆粒或碎屑組織，改良土壤之通氣作用，且於根之伸張，及土壤內含水量趨於良好；增加土



壤間隙。一般土壤間隙之容積愈大，則土壤愈良好。土壤疏鬆時，則每單位容積之適當土壤，必輕於固結之土壤。森林內之土壤，多少不致完全，結為各種大小，各種形狀之塊團；且使碎屑變為組織纖細之土壤；甚至改良其透水性。然各個單一之土壤微粒，受固結作用至如何程度，始變其微粒之性質，則尚不可知。按經驗，則沖積土及粘土內之土壤微粒，其性質異於尋常土壤微粒最甚。土壤顆粒結為團塊，固不利於林木；然土壤粒過小時，已降至林木最適要求度以下，通氣通水關係均不利，結果，使土壤粒微小之利點，幾等於零。

38 vi 林地土壤結為纖細組織之作用，因過度採取落葉，失其效力；或管理不得當，減少腐植質之形成。尤於缺乏碳酸鈣之土壤為然。此時土壤之疏鬆組織減少，而粘重性增加。乾燥時，堅硬密結；濕潤時粘板，空氣及水分，極難伸入微粒之間。一經固結，則難於恢復纖細組織，非待落葉地被及腐植質恢復之後，不易再覓。又蚯蚓之力，可促其早日恢復。

39. 合衆國 *New England* 地方森林土壤組成  
美國林地之研究，尚不如農地研究之進步。農地土壤之性質，已受耕作之改變；林地則多依然往古情形，

故稱爲處女土壤。自最近公認氣候爲土壤造成之因子，及認氣候對於完全土壤剖面內各系之重要以來，處女土壤，驟佔土壤問題上重要之位置。爲闡明生成處女土壤之構造過程，自然存在各系之特性，殊有仔細研究之必要。即如，現代公認 New England 土壤，可分爲兩大羣；(a) 北部——所謂灰色土壤 (Podsol 或 Gray soil)，(b) 南部——褐色土壤。猶有進者，即此兩羣土壤內地質 (Geology)，地形 (Topography)，及植生之作用，何以互不相同，端因，氣候所致，亦經學者所公認。

39 ii Marbut 氏 (注 1) 區別此兩羣土壤之異點如下：(a) 灰色土壤區域之極北部，剖面內首爲表帶系，乃直接位於於處女土壤以下之蘚苔森林遺跡也。其中之鐵分，石灰質，礫土，加里均被濾過，故呈灰色。此層厚度由半英寸至六英寸。表層系以下之第二系爲更暗之色。含有機質成分、鐵，礫土，均較多，其再下之第三系，尙有風化程度極淺之顯然岩石，且含第二系之成分但與第二系所含該物質多少之程度不一致。

39 iii 褐色土壤，直接位於於灰色土壤地帶以南。其剖面含有腐葉與礦質土壤混合之表層，且厚薄不一。

此種處女土壤之厚，由半英寸至三四英寸。但所含礦物養分，尙未經濾過。此表層以下，爲褐色至淺黃褐色系，含有機質之量少於表層或灰色土壤區域內相當之系。此淺黃色褐色系內之礦物質，多少已被濾過，但不如灰色土壤表層系之甚。又此系組織，尙不如下文所述者之細密，且含加里石灰，鐵，礬土之量，亦少於彼。第三系爲深於第二系之褐色或淺色褐色，組織細密，互相抱合，一般富於植物養料之元質。

注 1: Marbut, C. F., The Contribution of Soil Surveys to Soil Science, Proc. Soc. Prom. Agr. Sci. 40: 116-142, 1921.

39. iv 灰色土壤與褐土壤最顯明之差異，在其 A B 兩系（即表層及中層）。故灰色土壤 B 系內物質堆積情形，較褐色土壤 B 系內物質堆積情形爲顯著。何則，灰色土壤 B 系所堆積之物質，係由其表層 A 系——或消耗系——而來；褐色土壤則不然，堆積係由土壤斷面全體排水而成，其纖細物質遂被移去。

#### 40. 造林實行及於土壤特性之影響。

The Effect of Silvicultural Practice on Soil characteristics Hesselman 氏(注 1)最近研究北歐中歐——尤其

是瑞典，證明某一定土壤之特性，受造林之影響甚深。尤於腐植層為最明顯。此問題中，各種酸類腐植質，非礦化腐植質，及腐植質，在造林上之重要，均為重要事件。一般，若由氣候決定之土壤型，為灰色土壤，——如上文所述者——而為針葉林極盛相所標指時，則腐植質在森林植生所現之反應，極為判然。又若由氣候決定之土壤型為褐色土壤，——如上文所述者，——而以山毛櫸林或其他闊葉林極盛相為標指時，則腐植質在森林植生所現之反應，亦極判然。Hesselman 氏主張，因 New England 土壤狀況，既係受自然界所促成，則造林上所採之手段，亦必較其他地方為殊異。

註 1: Hesselman, H., Studier Over barrskogens humustacke, dess egenskaper och beroendö av Skogsvarden: Medd. f. Statens Skögsforsöksanstalt, Häfte 22: 169—552, 1925.

40 ii 一般灰色土壤之表面，被以多少厚層之朽土（duff），具泥炭土之性質，深達六英寸，多少易被菌絲及樹根之通過。有時纏繞強硬，不便於植生發育。灰色土壤區域，其地被物（Ground cover）常為蘚苔及石南類，如矮林狀之越橘及鹿蹄草是也。

美國北部此等氣候所決定之森林土壤型，雖為一般正常狀況，然在美國南方森林地方，因已易山毛櫸林或其他闊葉林而為針葉林，故氣候所決定之土壤型，為土壤衰頹開始之朕兆。因之，同一土壤或腐植質型，在北方為正常者，在極南方則為變態，且為不健全狀況之指標。

40 - iii 一般褐色土壤之表面，被以薄層之闊葉樹落葉。因此層落葉，由其深部漸次腐朽，遺留未朽之葉脈，縱橫交錯，以支持淺層未朽之葉；故未朽之葉，疏鬆易於通氣。此落葉層，厚在半英寸至二英寸以內，全層輕輕位於薄層混植土之上；有時厚不及一英寸，不易為菌絲或樹根所通過。而其下之混植土，即為其產物，且分解多已完全。然混植土漸漸消沒於褐色土層（A 系），而與之輕輕混合。此種土壤內，其落葉地被及混植土其兩者之造成，常保持平衡地位，且經植生之力，分解為有效之養分。然使土壤肥沃乃由落葉及混植土分解所致，似非由二者堆積所致也。

40 - iv 不論何處，若氣候所決定之土壤型為褐色土壤，且所成之森林以山毛櫸及其他模式闊葉林為極盛相，倘易闊葉林為針葉林，則林內之土壤，亦發生相

當之變化。

40—v 於帶有褐色土壤造針葉林，經過一次或多次輪伐期（Rotation）之後，遂因粗腐植生成，而減退地力。土壤型漸次變遷中，其林分之發育及生長，亦必隨之惡變。大概，針葉林分內，闊葉樹愈少，則氣候及土壤，愈使粗腐植質易於造成。

40 vi 然針葉林內，若不見粗腐植質，必其受特殊氣候及土壤所限制也。是以暖帶針葉中，或低溫帶針葉林內，有石灰質土壤林地中，均不發生粗腐植質。

40—vii 純針葉林內，發生粗腐植質之趨勢，若出現於褐色土壤，則促其於針葉林內，自然發生闊葉樹與之混交。森林家常用一定成分之山毛櫸或其他闊葉樹混交於模式褐色土壤之松屬樅屬或其他針葉樹林內，以防地力之衰頹。

40—viii Hesselman 氏（註 1）曾說明，落葉地被及朽土層與其下銜接腐植層間相互關係。氏曾研究，森林土壤特性之理由，及此等特性受造林手段所支配，究達如何程度。氏最初了解此等特性對於造林上極為重要；且此特性與腐植質，有密切之關係；尤其與各種酸性

腐植質非硝化腐植質。氏以其對於林業生產上之關係，較其他土壤任何特性爲重要。至於從前「以原生林較人工林優良，歸於原生林賦有多數樹種；且林內闊葉樹，爲自然發生之林分」。氏則不以爲然。氏主張混植土或粗腐植土之問題，——如某區域內近於法正林之森林土壤，——係由氣候所促成，初不關乎造林之影響也。土壤之酸性度本身，並不能妨害林木之生殖及土壤健康，反爲許多高位土壤之特性。但此酸性土壤，與其他物質混合時，遂造成瘠惡之森林土壤。

注 1: Hesselman, H., studier over barrkogons humustacke, dess egenskaper och beroende av skogsvarden. Medd. f. Statens Skogsforsoksanstalt, Häfte 22: 169—552, 1925.

40 ix. 落葉地被，因其來源之樹種不同，故各種地被之酸性度亦異。故針葉樹或矮灌木林之落葉地被，酸性度顯然。蘚苔落葉地被之酸性度較低；闊葉樹及草本落葉地被酸性度最輕，或竟爲中性。腐植質係由落葉地被造成；此造成作用，繼落葉地被由落葉造成作用之後。然混植土（Mull）造成時之化學作用，則異於粗腐植質造成時之化學作用。尤以其中淡氣之變化爲最顯著

。抑此等化學變化，與土壤微生物之發育相關；土壤微生物發育分布作用，在泥植土最旺，落葉地被內次之，粗腐植質內最微弱。——尤其是針葉純林下之腐植質。按 Hesselman 氏之研究，則粗腐植變為成熟腐植質經過時（原書作腐植化 hu ification），淡素性質安定，不能達到腐敗之有機質。又林相不同時，則此等化學變化亦不同；惟此變化之所以不同，決非完全受土壤反應於左右，乃受以下各因子之支配：

1. 夏季有效之氣溫；
2. 有效水分之供給；
3. 落葉地被內原始物質之有效性；
4. 林分之鬱閉度；
5. 林分之組成。

40 x. 森林撫育法中之間伐 (Thinning 英 Durchforstung 德)，有促進淡氣變化之力，且因此增加殘存林木之總生長量。此現象在粗腐植質發育優良之林分內最顯著。

40 xi 自土壤內有機成分開始以落葉地被堆積於土壤之上，以至變為有效養分，供樹體之攝取，其間之變化，恰為一循環；此循環顯然為森林土壤肥沃度之主



要因子。因之，對於決定淡氣，灰分等之效率上，亦屬重要。最終，影響於林分之生長量及生長狀況（即材質是否優良）。林地逐年堆積之植物遺體（即枯枝落葉），供給林木以高價的肥沃土壤，遂于林木以重要營養，而資其發育。然此等養分，如何由土壤放出，以達於後來之樹體，則受土壤內所起生物學的複雜作用所支配；蓋生物學的作用，促林內各種腐植質之成立，且決定其種類，最後使其變為有效養分也。Faick 氏（注 1）研究此有機質變化之循環，然仍多隱而未顯之點。氏側重潛於林地落葉地被及林地腐植質內之養分，如何為樹體所利用之一段。氏曾研究林內堆積之有機質，何以係不完全分解之狀態而存在之原因；且試驗此「反對分解物質」受生物學作用，而被誘起變化之可能性。彼發見：此「反對分解物質」必存於缺乏尋常細菌區系（Normal fungus flora）之土壤。彼指定帽菌（Hymenozymetes）及擔子胞菌（Basidiomycetes）為落葉地被分解及變為腐植質之極重要作用者。此有機質之分解及變化作用，初起於各種不完全菌（Fungi），旋再受土壤內高等動物之作用；因動物吞食此未完全分解之落葉地被，其穿入落葉之菌絲（mycelia），亦伴之入動物腹內。即如經蚯

蚓或其他動物吞食後，遂排泄體外，為易碎暗色之腐植物，再受細菌（Bacteria）之分解。

注 1：Falek, R., *Erweiterte Denkschrift über die Bedeutung der Fadenpilze für die Nutzbarmachung der Abfallstoffe zur Baumornamentierung im Walde und über die Möglichkeit eines nachträglichen pilzlichen Aufschliessung des Trockentorfs.* *sond. aus-Mycol. Untersuch. u. Ber. Cassel*, p. 38, 1923.

40--xii 經以上分解，遂游離多量直接堪供樹木生長需用狀態之淡素及礦物養分。且經此分解，造成腐植物質，與礦物土壤密切攪混，以改善土壤之理學性。然此分解，自然的又促成中陞混植土型之腐植土。

40 xiii 對以上變化路徑，居相反之位置者，為型範的粗腐植質及泥炭土之變化循環。實即粗腐植質之堆積也。因泥炭地內，環境狀況，概不利於 Fungi（不完全菌）之發育及活動，由落葉地被變為腐植質之最初階段，遂不能成立。斯時落葉地被內之炭素化合物，變為堅固密採之黑暗色；其原來組織，依然未完全失去，

僅有一部分分解者。淡素及灰分仍立於不能直接供營養之狀態。所有可溶解之物質，均被滌去。

40 xiv 一般混植土內，重要之養分，以有效狀態存在，且經過全部生長季節，豐富充量供給於植物。在粗腐植質土壤內則不然，除受菌根居間之作用外，其土壤內重要養分，仍保持繼續堆積過程中。

40 - xv. Schutze 氏（注 1）之考察，予林業土壤之理化性以一線光明。氏考察六種立地等級之土壤，每經土壤變遷一百年，則發生 Scotch pine；氏尚未查定土壤內化學成分之數量，與立地等級之直接關係；然普通在貧弱之立地，則含磷酸，鈣，錳，鉀，鈉之量，必少於較優之立地。惟許多森林土壤，含重要礦物元素雖較少，反為松屬（Pinus）生長絕好之立地。彼發見由極貧之立地，以至極良之立地，所含緻密土壤微粒之量，順次增加。且結論歸於土壤之理學性，——特如含水量——為決定地位之特要因子焉。

注 1: Schutze, W., Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung und Ertragsfähigkeit des Waldbodens, Zeit. f. Forstu. Jagdwesen, S. 367. 1871.

40 xvi 若將 Schutz 氏之論據分析之，則土壤內礦物成分之量，與森林植生所需要之礦物成分量，雖在極貧弱之土壤內，決無不敷用之虞。故此等重要礦物成分，鮮有被林分耗盡者。對於 Scotch pine 之尋常立地，雖十個連續林分，決不至耗盡土壤內樹木所需之鉀鹽；或二十五個連續林分，不至耗盡土壤內之耗酸。以上情形，縱令逐年無腐朽之落葉地被成風化作用補償其攝取之量，亦不至耗盡也。

40 xvii 土壤內礦物成分，為林分所耗盡，雖屬極鮮，但在某狀況之下，土壤之化學組成，為決定其有效度所必要，不可忽視。即如在某狀況下，如含過量鈣鹽或錳鹽，則使鐵分結合為膠質狀，對於植物營養失效。結果植物體患貧鐵病 (iron hunger)，或患漂白病 (chlorosis)。

40 xviii. 林地及農地內，雖兼含灰分及非灰分養分，然此兩種成分，彼此間之理學關係殊異。農地因耕作，多少失去顯然之層界，凡犁可達之深度內，大體組成一致，決非如林地之保有層界也。

40 xix 天然狀況下，若林分內之樹木枯死或滅亡，必係立地變化，為其他植生所代。此時遂有待於更

新 (Regeneration) 。更新可採之樹種及更新法雖多，然樹種林相，去新天然環境愈遠，則林地距法正林地之土壤愈遠。因之更新法更須週到。需要人工維持土壤肥沃度亦愈甚。故傘伐林 (Selter-waod System 英 Schirsch-lagsbetrieb 德) 較擇伐林 (Selection System 英 Plenter-lutrieb 德) 須週密保持地力。皆伐作業 (Clear-Cutting 英 Kahlschlagbetrieb 德) 較傘伐作業亦然。

40—xx 法正森林土壤各層系排列調節者，乃由森林植生本身所促成。故法正森林之土壤，殆無不被以適度之立木者。換言之，即法正森林土壤，決不存於非鬱閉之株下。又鬱閉不適度，或各株間不發生競爭，則落葉地被無從成立，遂不能形成法正森林土壤。蓋落葉地被為促成法正森林土壤首步需要者。然法正森林土壤，由上層之落葉地被，以至發展為適宜之各層，須經長久年月。一經形成，則除鬱閉破壞，地被消失之外，必永遠保持安定狀態。林業上，落葉地被尚有與農業之耕作相同效用，即使土壤疏鬆，土壤之理學性優良是也。此外落葉地被，保持上層土壤之水分，以供根之攝取。故落葉地被一旦被人採取，則土壤乾燥固結，生長量退減矣。

40—xxi 農業輪作 (rotation 英 Wechselwirtschaft 德)

及施肥，以維持地力；林業唯有保持落葉地被之一途。故林業家注意落葉地被，及其所生成之腐植土，農業家則不顧慮之，只注意於肥及表土與肥料密切混合。農夫藉人工之力，以增加土壤肥沃度，林夫則由樹種混交，冀其自然調節。由幼林以至老林，鬱閉度時安變遷，故其結果，使森林土壤之性質複雜，且土壤狀況隨時變化，處理誠不為農業之易。農業上倘感土壤貧瘠，不難立時用人工補償；林業面積廣大，限於經濟條件，不能施用肥料，僅由長期之努力，保持地被下草，減少間伐，以促其鬱閉，恢復已經濫耗之土壤。

40—xx ii 法正森林土壤，雖須經長年久月而成立，設長期曝露於日光直射之下，或屬次之火災，以及放牧採取落葉地被，遂失去其法正狀態矣。故林業家務使林地遠於法正森林土壤，且務保持其勿失此狀態；亦猶對於更新（regeneration 英 Verjüngung 德）及必要之除伐（Cleanings 英 Reinigungshieh 德）間伐（thinning 英 Durchforstung 德）之慎重也。

第六章

地質因子 (續)

THE PHYSIOGRAPHIC FACTORS( Continued )

1. 含水量或土壤濕度。

WATER-CONTENT ( SOIL MOISTURE )

森林植生，自土壤內攝取水分；僅於特殊情形，由空氣中獲得極少水濕。土壤中之水分，直接或間接來自降水 ( Precipitation 英 Niederschlag 德。因植物之表皮 ( Epidermis 英 Over-haut 德 )，多少爲不透水性，故曝於大氣之樹體各部，多不適於吸水以爲常。惟據 Schimper 氏 (註1)及其他學者，則謂熱帶樹種內，有由表皮毛茸攝取大氣中之水分者。又某種樹葉，一一例如有葉鞘者，一承接空中降水，以其少許，運入葉體內部。大氣濕度，雖爲補償或支配蒸發失水所必要，惟此機械的所集降水，不能作爲直接供給樹體之水源。因林木所需補償通發及生長現象之水濕，大抵均由地下根吸收而來。

註1: Schimper, A.F.W., Plant geography upon a physiological basis . English translation by Fischler ), Oxford, 1908.

1-i 土壤內流動之水 (或稱重力性之水)，若接近

表土，則對於森林不惟無直接之利，而反有害。此外爲林木所用之水濕，由種種作用之力，保持於土壤之內（注2），乃係最利於植生之水分；且資植生之生長及蒸發系。流動性水存於表層以下極深之處，如地下水（ground water）是也；且概蓄於不透水層（impervneable strata）之上，按照重力法則而運動，多少滲成積水，存於地表，如湖沼是也。然地下水距地面深淺不一，視其所在區域之地（topograp'y）及其他土壤性質而異。地下水之水面，恆與其滲成湖沼緣邊之水面一致，且多與距水底某深處土壤水平面平行；若在傾斜層，地下水之水面，遂漸接近傾斜面之腳點。

注1: Schimper, A.F.W., Plant geography upon a physiological basis (English translation by Fisher.) Oxford 1903.

注2: Hilgard, E.W., Soils, p. 201. New York, 1906.

## 2. 土壤內水量及水之分布狀況。

The Amount and distribution of water in the Soils  
土壤內之水量，隨地方及季節而極不一致。林業者  
恆據土壤含水量，區別土壤爲以下各類：註1)

### 1. 濕土壤 (Wet soil)。



下者。

2. 濕潤土壤 (Moist soil)。強擠土壤，始滴水分者。
3. 適潤土壤 (Fresh soil)。雖強擠之，絕不滴水，惟顯含水之顏色耳。
4. 乾土壤 (Dry soil)。觸之絕不感潮潤；惟揉之尙不致散爲粉末者。
5. 極乾土壤 (Arid soil)。除純砂外，乾時粘固堅硬，惟揉之則自碎爲粉末者。

注 1: Nisbet, J., Soil and Situation in Relation to forest growth, p. 19, London 1898.

2 ii 按物理的含水量等級，區別土壤，多爲一般學者所公認。即極濕 (very wet)，濕 (wet)，適潤 (Moderately wet)，潮 (Moist)，微潮 (somewhat moist)，新鮮 (Fresh)，微鮮 (moderate fresh)，乾 (dry)，適乾 (moderately dry)，強乾 (very dry)。

2—iii 以上表示土壤關係乾燥之方法，似近於實際。故常用以解釋立地。但在科學的眼光，考察土壤含水量，必以對於乾燥土壤重量百分率或每單位容積之土壤淨量表示之。然林業上恒用生於某地方之樹木及其他植

生，表示該地土壤之含水量，因其他立地因子均不如土壤水分影響植生形相（Physiognomy）之鉅也。

2—iv. 當土壤表面之水分，由蒸發及所生植物吸收而被耗去時，同時由降水及距地面不甚深之地下水補償之。

2—v. 在尋常環境，土壤最大含水量，在表土及恰位於地下水水面以上之心土，尤以有植生之土壤為然。因表土常富於腐植質，故能吸收含蓄多量水分。又因表土富於落葉地被，故能防止水分之蒸發。因之，表土之給水量充足。

恰在地下水水面以上之土壤，偶爾失去水分，立時由地下水藉毛細管作用補充之，故其給水量亦充足。介於以上兩者間之土壤，因水分一部分滲至他處，一部分被樹根或其他深根性植生所攝取而減少，故此層最乾燥。

2—iii 惟地下水除已達到根域為毛細管所吸引者外，其他地下水之水平基面任何變動，絕不影響於植生。抑地下水水平基面，若幾達於地面（凹處之地面）時，則為森林或其他植生性質之無上支配者。地下水之水面，若在山地表向下一至二尺之間，則土壤感涼，且只能

發生極淺根性樹種。若地下水而距地表之深變動不一時，則時而可為植生所利用，時而不能為植生所利用；引起地下水平面永久變化之因素，若接近於地表時，則亦引起植生之永久變化。

### 3. 土壤含水量。

The water-holding Capacity of Soil.

Die wassersnhaltungs fähigkeit des Bodens.

土壤攝取含蓄水分，不至滲入下層之能力，稱為土壤含水量。含水量之大小，以一定重量或容積土壤儘量能保持之水分，不至滴落為重力水分之重量表示之。含水量之大小，視表面張力所生水分子膠質性分布面積集合體之大小而異。1.)此積合體，又因以下狀況而推移：

1. 微粒之形狀(Size of particles)。微粒愈小，含水量愈大；例如微粒直徑(1—2公厘 mm)之土壤，其含水量為微粒直徑0.01—0.07公厘(mm)土壤含水量之 $\frac{1}{10}$ 。

2. 腐植質之存在。腐植質微粒，不但小於礦質土壤微粒，且較能吸收水分，因此，土壤中如有腐植質，必增加其原來之含水量。

3. 土壤微粒之排列。土壤碎屑(Soil-crumb)有使土壤疏鬆之力，及干涉毛細管作用，故有碎屑之土壤其含水量必減低。

4. 機械的妨礙含水量之因素。如礫，石利等干涉毛細管作用。

3—ii 石英所成之砂 ( Quartz-sand )，含水力最小。  
。石灰質砂 ( Calcareous-sand ) 含水力稍大。腐植質土壤含水力更大。泥炭土含水力最大。

注 1： Ramann, E., Bodenkunde, 2 Auflage, S. 240, Berlin 1905.

#### 4. 土壤之透水性。

The Permeability of Soil.

Die Permeabilität des Bodens; Die wasserdurchlässigkeit des Bodens.

各種土壤，並非一律容易透水，故降水滲入土壤之速度，因土壤種類，微粒之乾燥程度 ( Trockenheit )，及一般含水力而異。土粒愈纖細，透水愈慢；特如粘土及某種腐植土，其微粒若極緻密，幾乎為不透水性。反之，粗粒及輕鬆土壤，最易透水。石及不透水性之土層，對於透水作用發生機械的阻碍。石灰質有疏鬆土壤之效，故凡含石灰質之土壤，則透水性增高。裂縫，孔隙，特如蚯蚓之洞穴，增高土壤之透水性。就土壤之成分言之，石英質砂為滲透最速之土壤；緻密之腐植質及粘土為滲透最慢之土壤。倘上層土壤變為乾燥，特如富於腐植質之土層，則土壤微粒十分透水，須歷時甚久。乾燥

之緻密落葉地被，特如由針葉所成者，透水極慢，有似茅屋泄水之狀。然就一般論之，有森林地被之土壤，常較無森林地被之土壤透水速；此乃因落葉地被以下，有許多孔隙。然在開放地面，則無落葉地被，故不能形成孔隙也。

5. 土壤之吸濕性。

The Hygroscopicity of Soil.

Die Hygroskopizität des Bodens.

土壤吸收水蒸氣之大小，直接繫乎（1）土壤本身之性質，（2）關係濕度（Relative humidity），（3）空氣之溫度。溫度愈高，土壤吸濕力愈大，淺層土壤，曝於飽和天氣二十四小時，可以測驗其吸濕性之係數，或使土壤達於最大吸濕點。1.)

注 1: Alway, F. J., et al., Some notes on the direct determination of the hygroscopic coefficient. Jour. Agr. Res. 2: 147-166, 1917.

5--ii 土壤由空中吸收水蒸氣之力，視其本身之乾燥程度及其有孔性（Porosity）而異。各種土壤大抵皆可吸收空中之水蒸氣，惟其量或多或少耳。然此氣體之水分，究不能充量供給土壤以植生所需之水濕。

6. 土壤之毛細管引力。

The Capillarity of Soil.

Die Kapillarität des Bodens

土壤由較深土層吸上水濕，或由地下水水面，吸上水濕之力，頗影響森林植生。吸上水濕之高度及其速度，繫於土壤之毛細管作用，尤其是重繫於土壤微粒之大小及其排列狀態。此作用在石英質砂土最速，在粘土及其他纖細顆粒之土壤最慢。然水分上昇之高度，則與此相反：即在石英質砂土最低，在粘土最高。倘堅硬之土壤，其微粒直徑超過三公厘（3 mm.），則微粒間之間隙孔大於毛細管所需要者，水分遂不能吸上。一般水分上昇之高度，在砂土由十至十五英寸。在粘土由四至六英寸。1)

注 1: Hilgard, E. W., Soil, p. 201. New York, 1906.

7. 土壤內水分之消失。

The Loss of Water from the Soil.

土壤水分消失之主要原因有三；（1）為植物根所攝取，（2）滲入下層，（3）被空氣蒸發。

7-ii 立地因子中，以土壤之水分為最易擾亂。遇

此情形，則林業者束手，實因季節的乾燥，非人力所能補救。惟有就管理法能力所及，保存土壤中水分至其限度耳。管理法上保存土壤中水分之工具，為具種種防止乾燥方法之落葉地被。造林上最重要之問題，首導種種斫伐法於保存地表水分之下。於開放立地行過度之間伐及掃除伐，往往消失落葉地被及減退地力。完全無保殘木之更新法，易致新林分之枯死。為解決如何處理林分或全林，使免於水分消失，則以上各事，均關重要也。

#### 8. 由蒸發消失之水分，

##### Water Loss Through Evaporation

土壤中之水分，經蒸發消失一大部分。凡引起土壤中水分過量蒸發之氣候，僅保持異於蒸發量小地方之別樣植生。

8--ii 決定土壤內水分蒸發強度之條件，分為外部及內部。外部主要條件為：

1. 大氣中之關係溫度
2. 風之速度
3. 地面之傾斜及方向
4. 地被物為無生物或生物。

空氣中關係濕度愈大，則土壤內水分蒸發之量愈小。傾斜地或充分向日光之方位，由地表土壤水分蒸發力，速於向日較少之方位。風之速度，直接影響蒸發力；即其他立地因子無變化時，風速愈低，則由蒸發消失之水愈少。在植物生長期間，有生活之地被物，常由土壤奪取多量之水分，以補植物體內通發（Transpiration）所消失水分之量。然此土壤若被以林木等庇蔭，則下草灌木等植生，由土壤奪取水分必較少。

8 - ii 主要之內部條件爲：

1. 表土之關係平直度；
2. 表土之緻密度；
3. 土壤之毛狀或成碎屑情形；
4. 土壤之顏色；
5. 土壤微粒之大小。

緻密之表土，較疏鬆之表土，其水分之蒸發爲速。又深暗色之土壤，較淺色土壤，由蒸發失去水分亦速。土壤微粒大小適中時，其水分由蒸發而消失者最多。碎屑型之土壤，減少蒸發量。含飽和水分之土壤，較游水地之蒸發量爲大。

9. 由通發作用消失之水分。



Water Loss Through Transpiration

森林植生之實際面積，接觸於大氣者較土壤面積接觸於大氣者良多。又植生藉其根之力，不絕由土壤奪取水分；由此所得之水分，以一部參加植物體本身組織之內，以其大部分藉葉及其他上器官通發於體外，遂由全植生表面，向大氣中蒸發。生長期間，有森林或其他植生之立地，必較完全裸立地——縱其他土壤狀況相同——失去較多之濕氣。乃因有森林或其他植生之立地，由通發及蒸發合成作用，必較裸地之僅由蒸發失去水分為多也。生長季節，植物根由土壤奪取之水量，不僅視當時大氣之狀況，猶視植生之種類，土壤之溫度以及土壤含水多寡，所含水分之關係純度而異。因生長季節，樹木消納多量水分；故一般森林土壤，經過由春至秋，逐步遞昇乾燥。

9-ii 由 Hohnel 氏<sup>1)</sup>探究，表示生長季節，由通發作用，森林土壤失去一大部水分，每英畝 (acre) 完全立木度成熟之魚鱗松林分，全生長季節，消失土壤中之水分在二十萬加侖 (gallon) 以上。Weaver 氏及 Crist 氏<sup>2)</sup>表示 Kansas 省草原羣系 (tall grass prairie association)，經過全生長季節，每日由土壤通發所失之水分，每方英

尺之地方約近於一磅之重。

1. Holmel, F. R. von., *Über das Wasserbedurfniss der Wälder. Cent. f. d. gesante. Forstwesen*, 10; 387—409 1884.
2. Weaver, J. E., and Crist, J. W., *Direct measurement of water loss from vegetation without disturbing the normal structure of the soil. Ecology* 5: 133—170. 1924.

9 -iii 然森林植生，又有增加土壤濕氣之功效何也。蓋林下之生活或無生活之地被物，一方保持降水，使其不急劇流去，他方以其掩護之力，阻免該地被物所在土壤急劇蒸發。惟另一方面，森林植生，亦能減少土壤中之濕氣：即，（1）樹冠中途截留大部分降水，使其不能直達地面，（2）樹體本身，奪取土中濕氣，以供其通蒸之需。故森林植生及於土壤濕氣之總影響，為所有能增加或能減少土壤水分各因子之總結果。因之，森林立地或其他與森林相似之立地，經過植物生長季節時，由各種關係——植生以外之各種關係——所致土壤內水濕之變動，應由上述各因子之總結果測度之。

9 -iv. Simpson 氏<sup>3)</sup>比較林地與該林地其他狀況相

同之無林地，兩者土壤內濕氣季節的變動。氏考察結果，表示有立木地土壤所含水濕，經過生長季節時，較無林地土壤所含水濕，由地面向下，約淺三英尺。

3. Simpson, W., The seasonal variation of the soil moisture in the forest and in the open. (Unpublished manuscript) 1927.

9—v. 據地方的觀察，森林土壤中之濕氣，由生長季節之初期起（陽歷六月間），以至生長季節休止後（陽歷十月），遞增消耗。即隨此順序，土壤濕氣依次減少。反之，伐木跡地，土壤濕氣在春季顯著減少以後，確自六月至十月逐漸增加。下表所載之數量，係比較有林地土壤與伐採跡地土壤所含濕氣，經過生長季節，兩者間如何差異。表內所稱之森林地地，為六十年生白松之完全立木度。含濕量為對於一定容積，適中土壤之百分率。

林地及伐採跡地經過生長季節，各級土深所含平均濕氣表：

地面向下深度（公分）	伐採跡地濕氣量%	森林地濕氣量%
0—10	20.7	14.4

224 國立北京大學農學院森林立地學講義

10 - 20	24.2	16.1
20 - 50	20.1	13.0
30 - 40	13.2	8.4
40 - 50	9.2	6.9
50 - 60	8.5	6.3
60 - 70	8.1	4.9
70 - 80	9.5	4.7
80 - 90	8.4	4.5
90 - 100	8.3	4.7
平均	13.0 <sup>+</sup>	8.4 <sup>-</sup>

9 vi. Touney 氏及 Craib 氏<sup>1)</sup>，表示 New England 地方白松林之完全立木度林分，經過延期之乾燥。其恰在落葉地被以下之土層，即由地而向下一英尺或數英尺深，所含濕氣，遂降至凋萎係數以下。此乃因林分鬱閉過厚，妨碍林下發生下草灌木植生。因而減少有效之濕氣也。似此許多高原，密林以下，缺少下級植被層，概山林木過密各株間爭取水濕及養分甚烈也。

9 vii New England 地方山腹及山脊密林之下，往往缺乏下級植被層；反之，同地溪谷及山脚，一律疏鬱閉之喬林下，尚有下級植被層。故土壤之濕氣，不至降

至上述之極限。

9—viii 在許多森林地方，垂直森林帶(Vertical zonation)及下級植被之有無，似爲土壤含濕之無上支配者。

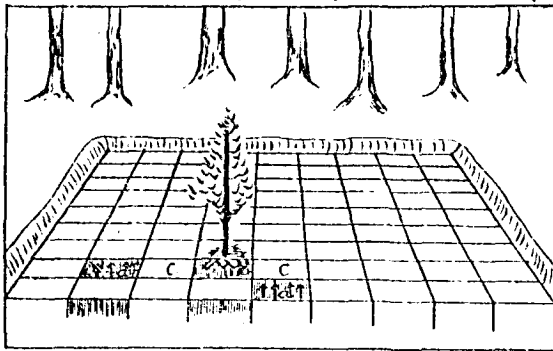
- 1: Toumey, J. W., and Craib, I. J., The effect of isolating quadrats by trenching, upon the available moisture within the soil. (Unpublished manuscript)1927.

9 -ix Toumey 氏及 Craib 氏，指出於完全無下級植被之白松林內，施行開伐 (Trenching) 後，不久即發生下級植被；當根間對於土壤中濕氣及養分競爭被人工節制期內，白松林之鬱閉度，決不至達於妨害下級植被發育之程度。此開伐試驗，係在白松林內，劃出每邊九英尺之方地一段。區內原無下級植被，只有連續增加之針葉落葉地被；區內每隔一英尺，縱橫劃線，分爲八十一個一英尺方格；開伐格之半數，則樹根於開伐之方格內，被阻而不得伸長。不問樹冠之鬱閉度如何，必於開伐之方格內，發生豐富之下級植被。乃土壤中之濕氣及養分

，已超乎四圍生活樹根之外。同時凡未開伐之方格內，絕少或竟無下級植被。見下第三圖。

### 第三圖

白松林內開伐後發生低級植生圖



- a 為已開伐方塊發生低級植生者
- b 為已開伐方塊切斷大樹之側根者
- c 為未開伐方塊

9. 開伐方塊與未開伐方塊所含有有效水濕量如下一覽表所示。

年中最乾期開伐及未開伐林地所含有效水濕一覽表

試驗方地 之位置		土壤深度 (英寸)	Quadrat 5.					十一月七日 民國十五年
			用乾燥土壤重量百分數代表有效水濕之總量					
			九月二日 民國十四年	七月九日 民國十五年	八月九日 民國十五年	九月九日 民國十五年	十月十四日 民國十五年	
開伐之方塊	0—6		8.22	15.46	12.15	7.97	12.64	19.49
	6—12		.....	14.86	4.58	9.49	12.19	16.61
	12—18		3.46	2.94	3.27	5.00	9.22	3.28
	18—24		.....	2.11	3.18	5.67	5.23	2.80
	24—30		3.68	3.19	1.95	5.10	4.45	4.01
未開伐之方塊	0—6		4.77	2.58	4.94	5.34	6.32	21.29
	6—12		.....	1.82	1.44	-0.08	7.04	7.48
	12—18		1.21	3.35	-0.63	3.46	0.86	2.82
	18—24		.....	2.74	1.02	0.97	1.93	4.64
	24—30		3.00	3.18	1.43	1.43	1.35	4.10
			Quadrat 10.					
			九月二日 十四年	七月九日 十五年	八月九日 十五年	九月九日 十五年	十月九日 十五年	十一月七日 十五年
開伐之方塊	0—6		18.84	26.93	20.80	19.07	27.78	20.65
	6—12		.....	13.55	15.00	14.80	15.44	13.80
	12—18		2.67	5.44	2.31	9.18	14.00	10.12
	18—24		.....	2.15	1.93	3.67	7.63	4.06
	24—30		3.86	2.17	3.24	4.83	7.00	6.66
未開伐之方塊	0—6		2.57	3.55	9.39	13.98	5.18	16.88
	6—12		.....	4.47	1.83	12.54	1.94	5.22
	12—18		3.10	4.19	2.33	5.26	1.56	2.53
	18—24		.....	1.55	-0.54	1.05	2.58	2.78
	24—30		2.54	1.21	0.73	3.35	4.32	7.77
			Quadrat 27.					
			九月二日 十四年	七月廿五日 十五年	八月九日 十五年	九月十一日 十五年	十月十三日 十五年	十一月六日 十五年
開伐之方塊	0—6		14.45	19.85	12.78	24.00	21.33	19.96
	6—12		.....	11.50	15.18	18.78	14.67	13.21
	12—18		16.50	5.19	5.74	11.14	9.43	14.85
	18—24		.....	4.99	8.58	5.43	6.86	15.60
	24—30		10.86	4.70	2.23	5.38	5.86	6.93
未開伐之方塊	0—6		4.80	2.89	1.67	8.38	13.14	12.89
	6—12		.....	3.10	4.45	5.46	12.11	15.11
	12—18		0.69	3.13	4.21	3.83	6.77	11.19
	18—24		.....	3.01	5.05	3.03	4.89	9.30
	24—30		0.93	4.10	1.86	3.02	1.12	7.50

由此等考察：則

1. 土壤內有效濕氣之總量，因解放根間水分競爭而濫行增加。在最乾燥期內，由地面向下最初六英寸深以內，對於植物有用之土壤中，其已開伐方塊所含濕氣量，為未開伐方塊所含濕氣量之二倍至九倍。

2. 比較有效之濕氣，存於表土者，似較存於深層者為一定。愈在深處，則含濕氣之量變動愈大。且不論在已開伐或未開伐之方塊地皆然。由此事實，可以說明樹根何以多繁盛於上層土壤之理由。

3. 經過年中最乾燥三個月，即七八九之三個月，林地所含有效水濕量，常低減至僅能維持微小植生最小限濕氣量以下。此事實對於說明極鬱閉林下，何以缺乏更新力，甚為重要。

#### 10. 森林土壤之給水量。

The Water Supply of Forest Soils.

土壤之理學的含水量，為其給水量與失水量之差；此數值雖視土壤及所在各種條件下而異，然在尋常森林土壤，按一定狀況消用時，必能在季節的極限內，維持其含水量。於豐富降水時，過量或重力的水分，立即流去；其餘部分經蒸發及植生通發作用，逐步徐徐減少。



若此種減少水分繼續不已，直待再由降雨補償其損失。此緩慢之循環，雖不能由水分減少，充量測知，然其對於植生之影響則極重要。

10—ii 一定森林土壤內之水量，即給水量與失水量之差，繫乎給水法之性質，由土壤奪去水分之力量，及土壤對於此力量之抵抗力。

故在給水狀況一致不變時，粘土所生之抵抗力，可保持與土壤乾重 30% 至 35% 之水濕；沙土所生之抵抗力，可保持 2% 至 5% 之水濕；各型植生所攝取之水濕量，互差甚遠，視植生之型式而異；結局，植生遂可決定水分消失之率。此事為極重要之問題，故植物生理學者，常以之計算由土壤攝取單位容積水分所生乾燥物量，且稱之為通發係數。然同化與通發之間，似無一定關係。此係數反隨溫度，養分給量，及其他因子而變動。

10 ii 一般，能生於一定面積森林土壤之乾燥物量，隨有效水分之增加內增加，而達於某極限點；其減少也，乃由重力的水分限制根所需要之空氣量所致。隨有效水分供給量之變動，如其降至最適度 (Optimum) 以下時，根系發生顯然形態的及習性的變化，即他方於地

C. J. P.  
Given by our  
schoolmate Mr. Sun  
1946. 6.19

