

觸酵 (Catalase) 研究之趨勢及文獻之介紹 七九

吳 韞 珍

觸酵者何？即動植物組織中之一種酵素，具有促進過氧化氫之分解作用，以成一分子之氧與水是也。過氧化氫原能自然分解。特其速度甚緩，非經久長之時間，不易覺察；惟若與動植物組織之含有觸酵者，一相接觸，過氧化氫可立即分解，此種觸媒現象，最初發見之者為 Schoenbein 1863. (人名下附以年份者可於篇末文獻參考中檢得之)。殆後經 Loew, 1901 之研究，以此種物質具有酵素之特性，又有使特種化學作用加快之觸媒現象，故氏始以 Catalase 名之。茲依語原，譯之為觸酵。至今二十餘年間，關於觸酵研究之文獻，大都皆散見於各重要雜誌。觸酵之名，於生物化學中，可偶一見之，於酵素專書中，亦每略備一格，皆語焉不詳。茲將此類重要文獻研究之結果，限於植物方面者，述其厓略。殿以所引參攷文獻，以作介紹。篇分三段，依文獻所示研究結果之性質為歸納，即(一)觸酵的化學及物理的性狀，(二)影響觸酵作用之諸因子，(三)觸酵作用與呼吸作用之關係是也。

(一)觸酵的化學及物理的性狀

Loew 氏以後，繼起研究者如 Senter, 1903; Pozzi-Escot, 1903; Liebermann 1904 與 Wender, 1904 等，均得於生物組織中，製取觸酵，並無氧化酵 Oxidase 之夾雜。是為證實確有觸酵其物之始。是後作者，試驗時所用之觸酵，大都皆非純粹者。此則以使之純粹，手術誠非易易。再則以觸酵作用，每因之變

弱。Schmidt, 1904, 欲於赤血球中,製純粹觸酵,已有此經驗。及後 Morgulis, 1921 欲於肝臟中製取之亦云。以故行觸酵試驗者皆不求使之純粹但求其作用最大。Willstätter, 1912 用面吸作用法 Adsorption method, 以純潔脂肪中之觸酵。其法先用吸收物 absorbent, 以使觸酵變為不溶性之沉澱;再用酒精以脫出吸收物中經面吸之觸酵。及後 Becking and Hampton, 1920 曾用此法以純潔大蒜中之觸酵,未得成功。二氏謂觸酵每緊緊粘附於酒精沉澱之上,不得脫去,非若過氧 peroxidase 化酵之易以此法行之也。

Loew, 1901 曾將觸酵製液行濾過時,發見觸酵可分為不溶性的 a-觸酵與可溶性的 b-觸酵二種。及後 appleman, 1910 證實之,並謂此二種觸酵,均以分子太大之故,皆不得濾過姜柏氏濾器 Chamberlain-Pacteur Filter。Becking and Hampton 1920 依觀察之所及,以為所謂 a-及 b-觸酵,實為一物,不過二者之固膠體之液化 peptizatiens 稍有不同度耳。Holderer, 1910 發見凡觸酵製液之能以 phenolphthalein 在 PH 6-7 中和者,可以濾過姜一柏氏濾器;若以 Methyleusorange 在 PH 3-4 中和者則否。依 Vendevelde, 1906 之觀察,知觸酵能濾過腸膜,不能濾過纖維質膜。Lyon, 1909-10. 以海水產棘皮類 Echinoderm 之卵,置之蒸溜水中,可使其觸酵作用,增加二倍。氏以為在海水中與蒸溜水中,卵細胞膜之透性 permeability 亦因之不同之故。Hampton and Becking, 1920 亦有相類之觀察。二氏以海藻石蓴 *Ulva taeniata* 作試驗材料。事先曾以蒸溜水洗滌,經四十分鐘者,其觸酵作用較原有者減至半量;若仍用海水洗滌者,則並不減少。二氏以為用蒸溜水洗滌時,觸酵不

免以外向滲透 exosmosis 之故,流入蒸溜水中。以故二氏深信觸酵之爲化合物,當不至如一班人所想像之爲複雜也。酵素每以受高溫而毀損。其毀損點則又視乎觸酵之原料而異。

觸 酵 原 料	達毀損點之溫度	作 者
馬鈴薯	50°C	Appleman, 1910
酵母	65°C	Sohugen and Swith, 1924
烟草葉	72°-75°C	Loew, 1901
Iva xanthifolia之葉	73°C	Harvey, 1924
麥芽液	80°C	Liebermann, 1904
多種蔬菜類之液汁	100°C	Falk, McGuire, and Blount, 1919.

觸酵作用,易受酸度之支配 (sensitive) 作者如 Applemann, 1910; Crocker and Harrington, 1918; Falk, McGuire and Blount 1919; Harvey, 1920 諸氏,均已言之,依 Falk, McGuire and Blount 1919 之觀察,知多種蔬菜中之觸酵,在鹼性達 PH 11—12 時,及酸性達 PH 4 (惟蕃茄爲例外) 時,其作用每被制止。並謂欲求觸酵作用最大,雖無一定之氫伊洪濃度可言,惟普通總以在 PH 7—10 之間爲最佳。Merl and Daimer 1921 謂麥粉中之觸酵其作用以在 PH 6.1—7.1, 而溫度在 30°—40°C 者,爲最大。其時之溫度系數 temperature coefficient 爲 1.5

欲求觸酵製液之作用最大,必須中和製液中之酸度。至於中和時所當用之鹼性試藥及分量,則又須視原料之性質以測定之。Euler 1912 發見製液之以 $\frac{N}{500}$ 氫氧化鋇中和

者則觸酵作用減少;用同濃度之氫氧化鈉中和者則觸酵作用增加。Heinicke 1923 謂用氫氧化鈉溶液或用碳酸鈣粉末而加水過多者,則於行試磨研 maceration 組織時,不能將組織完全磨碎。Crocker and Harrington, 1918 謂若用碳酸鈣,過於中和所需三倍以上者,反足以減少觸酵作用。氏謂欲試驗結果準確,必須支配製液使具一定之氫伊洪濃度為宜。Morgulis 1921 取肝臟之製液,以 0.01 N 之氫氧化鈣中和之,同時支配製液之氫伊洪濃度在 PH 7 處。

Michaelis 1913 深信觸酵對於過氧化氫之觸媒作用,乃由於其解離後之陽伊洪,及未解離部分的活動能力所致,至於觸酵之陰伊洪則完全無活動能力。Michaelis and Pechstain 1913 發見觸酵溶液,若其氫伊洪濃在 1.55×10^{-6} 至 2.4×10^{-6} 時,溶液中之伊洪全向陽極遷移;在 8.7×10^{-6} 至 1.15×10^{-4} 時,則全向陰極遷移;惟若在 3.9×10^{-6} 至 6.03×10^{-6} 時,則其伊洪向二極遷移。

茲集各作者試驗各種化學試藥對於觸酵作用之影響,列表如下:

	化 學 試 藥	試 藥 濃 度	對於觸酵作用之影響	觸 酵 原 料	著 作 者
1.	Hg Cl ₂	1:2000000	作用減少	血液	Senter, 1905
	Hg Cl ₂	0.005 mg. p. liter	作用消失		Hata, 1909
	Hg Cl ₂	存在	極毒	烟草葉	Loew, 1901
2.	Cu SO ₄	存在	減少	血液	Euler 1924
3.	Hg O	存在	損害	麥芽	Lieberman 1904

4.	Magnesia	存在	損害	麥芽	Liebermann 1904
5.	KNO ₃	1:40000	減少½		Senter, 1905
	KNO ₃	1:1200	極毒		Yamasaki, 1920
	硝酸鹼類	存在	減少	烟草葉	Loew, 1901
	鉀鹽	存在	減少	烟草叶	Loew, 1901
	硝酸鹽	存在	減少	蛙之肌肉	Santessen 1922
	硝酸鈉, 鈣, 鉀	少量	減少	萃樹之叶及樹皮	Heinicks, 1923, 1924.
	Ca(NO ₃) ₂	2.5 mg—2.9 mg	大受損害	蔬菜	Knott, 1926
6.	亞硝酸	存在	減少	烟草叶	Loew, 1901
7.	KCl O ₃	1:40000	減少½		Senter 1903
8.	H ₂ S	存在	有毒		Euler, 1924
9.	Chloride of alkali	存在	減少		Liebermann 1904
10.	KI	1:50000	減少½		Senter, 1903
11.	ethyl bromide	燻	增加	馬鈴薯	Appleman, 1915
	ethyl bromide	燻	增加	苹果	Overholser, 1926
12.	HCN	1:1000000	減少½		Senter, 1905
	HCN	燻	減少		Moors and Willaman
	HCN	存在	有毒	蛙之肌肉	Santessen 1922
	HCN	存在	有毒	牛乳	Faite, 1909
13.	純酒精		損害	烟草叶	Loew, 1901

14.	ether	少量	無甚影響	烟草叶	Loew, 1901
	ether (濃者)	燻一旬鐘	損害	萃樹叶	Heinicke, 1924
15.	Cblorofonu	少量	無甚影響	烟草叶	Loew, 1901
	Chloroform	存在	增加七倍	酵母	Euler 1912
16.	fonualdehyde	0.001 N	減少20%		Senter, 1905
	fonualdehyde	浸	減少	小麥種子	Atwood, 1922
	fonualdehyde	存在	減少	烟草叶	Loew, 1901
17.	acetaldehyde	存在	減少		Senter 1905
18.	aniline	存在	極毒		Senter 1905
19.	Toluene	存在	減少	蔬菜	Kuott, 1926
	Toluene	存在	增加六倍	酵母	Euler 1912
20.	溶解澱粉	1:5200 gr.	作用大增		Yamasaki, 1920
21.	pyrogallol or sugar	極濃者	損害		Kasanski, 1920
22.	蔗糖	存在	稍增加		Yamasaki, 1920
23.	hydroxylamin	1:80000	減少 $\frac{1}{2}$		Senter 1905
24.	phenylhydraxin	存在	減少 $\frac{1}{2}$		Senter 1905
25.	powdered egg albunsin		減少		Santessen, 1922
26.	asparagine	存在	稍減		Yamaaki. 1920
	asparagine	0.375 mg—75 mg	二十四旬鐘後有增加		Knott, 1926.

Crocker and Harrington, 1918 於禾本植物 Johuson Grass 之

種子中,製取觸酵液,謂若製取時,磨研太久,足以減少觸酵作用。但 Hampton and Becking 1920 於石蓴 *Ulva taemata* 中製取觸酵液,則謂磨研愈久而周到者,所得觸酵作用亦最大。Heinicke 1924 謂若以萃樹之皮,與碳酸鈣粉末一同乾磨,足以減少觸酵作用;若加少量之水,然後磨研者,則反是。氏謂加水磨研,可使組織中之酸類,完全中和。同時可以減少磨研時所發出之熱。

Waetjg and Steche 1911—12 謂製液若經振蕩,足以損害觸酵。反之 Loew, 1901 謂製液之經振蕩者,用之以使過氧化氫起分解作用,所發出之氧容量,可以倍於用製液之久經靜止者。是則以久置不動,製液之一部沈澱,上部之純清液 *supernatant liquid* 其觸酵作用乃極弱 Herzog 1904 曾證實觸酵作用亦受擴散律 *law of diffusion* 所支配,若發出之氧達過飽和時觸酵作用即以之而減少。

(二)影響觸酵作用之諸因子

茲集各作者實驗之結果,關於因子之為直接的或間接的,凡足以影響觸酵作用者,分別述其厓略如下。

(1)關於測定方法者 Becking and Hampton, 1920 謂觸酵作用定量之測定法可大別之為三種,(一)為測定觸酵與過氧化氫作用時所生泡沫 *foam* 之容積,以定觸酵作用之大小。(二)以過錳酸鉀液用 *Volumetric* 法測定觸酵作用完結後未經用去之過氧化氫容量,(三)為用刻度管 *manometer* 以測定經觸酵作用所發出氧之容量。此法較之前二者為精密。

依第三法試驗時所用之二作用液盛器,大別之為二種,

(一)爲 Appleman 氏改良本氏器 Modified Bunzel Apparatus. 用廣口玻璃瓶以盛定量之觸酵製液,再用具室漏斗,裝入瓶口,以盛定量之過氧化氫液。即用二器分別各盛試液,而以其一器爲作用室是也。Becking and Hampton, 1920 則用小玻璃之具二小孔於一邊者以代漏斗。Morgulis, 1921 則用一 Eudiometer, tube, 而於其底下再裝一虹吸 siphon, 以代漏斗。諸氏謂用二個分離的盛器,於使於作用時發出之氧不致呈過飽和之現象。然事實上,用分離之盛器,不特使用不便,試驗時增多意外差誤,且不能使二作用液立刻完全混合。能矯此弊者則爲(二)Heinicke 之二臂玻璃管式 two-arm-tube type.。分別各盛試液於二臂之底部。以二臂相通連作人字形,故一經旋轉搖動,二作用液即於二臂中完全混合。是即以一器作二液之盛器,兼得爲作用室是也。

至於試驗記載之標準, Osterhout, 1918 曾有所論列。謂當以同量工作所需時間之比爲單位。如是則可任擇全作用中之某一時期以相比,二者之速率定數 velocity constant, 可不易的得與達此時期所需之時間爲正比。反之若以同時間所營工作之量爲單位,則二者之速率定數無定比之可言。

Becking and Hampton, 1920 實驗之結果,知所用觸酵總量,若乘以所需作用時間 reaction time, 常等於定數 constant. (公式爲 $\text{Amt. of catalase} \times \text{Time} = K$)。是即作用時間止反比例於絕對觸酵量。故二氏主張,記載時須用作用完全後所需之整個時間爲單位,而不宜任擇其中某時期所需時間爲單位。

Morgulis, 1921 謂若能支配二作用液,使稍近酸性,在 PH 6.7—6.8 處;同時能支配所用觸酵之量,可使同量之過氧化氫,

於作用完全後,得有70-80%之分解。能如是則觸酵促進過氧化氫分解作用之能力,常得與所用觸酵之量成正比例。反之若試驗時所用之觸酵量或過氧化氫量過多時,則在分解作用時所發出氧之容量,並不得與觸酵量成正比例。

Nothrop 1925 於改進 Morgulis' data 一文中,提及依 Morgulis 之記錄示分解作用(即氧發出之)速率,不論在任何時期,皆得正比例於觸酵之濃度;而與過氧化氫之濃度(若其濃度在0.1以上者)無關。反之若以定量之過氧化氫(其量當於作用完全後得過剩者)與不同量之觸酵相作用,分解後所得定積氧之所需之時間,與觸酵之濃度無定比之可言。

(2)關於所用過氧化氫之純潔與否 欲求分解作用最大,所用之過氧化氫必須不含毒質,同時酸度須低,而濃度須高。

Becking and Hampton, 1920 謂普通市間所售之過氧化氫,都含 acetanilide 至士 $\frac{1}{15}$ %。Senter, 1905 曾證實 amline 對於觸酵為極毒。

Crocker and Harrington 1918,用各種種子作實驗材料,謂試液中之有害酸類,大都由用不純之過氧化氫而來。Heinicke, 1923 用過氧化氫商名 "Dioxogen" 作試驗時,每次用碳酸鈣以中和之依 Morgulis 之觀察謂過氧化氫於中性或鹼性時,能自然分解。故於試驗前若曾用氫氧化鈉使之中和者,須支配其氫伊洪濃度較 PH7.0 稍低為宜。

過氧化氫以濃度高者方適試驗之用。Morgulis; 1921 謂若用多量之過氧化氫,不特徒增多量之水分,且足增毒質之量。氏並言早年作者行觸酵試驗,每用稀薄之過氧化氫,並

於低溫度行試之之不當。

欲求實驗結果之可以比較,每次試驗所用過氧化氫之濃度,必須一致。故於試用過氧化氫時,凡新瓶之初開用者,或既開瓶而久行擱置者,必須測定其含氧量。Heinicke, 1923 自行定一標準,凡 1 c.c. 之 "Dioxogen" 與 0.5 gm. 之二氧化錳相作用以能發出 8—12 c.c. 之氧者方合試驗之用。Morgulis, 1921 則用 volumetric method, 以過錳酸鉀液,測定其含氧標準。

為普通生理試驗之用,市中所售之 Merk's Superoxol, Baker's C. P. Hydrogen peroxide, Oakland's Peroxide of Hydrogen 與 Dioxogen 皆可用。經 Crocker and Harrington, 1918 之測定,謂此數種中,以 Oakland's Dioxogen 之所含過氧化氫百分比為最高,至 3.63%, 且每箱每瓶之濃度亦甚均一,即所含酸度亦較低。

(3)關於溫度者 Burge and Burge, 1924 採取冬日堅冰下冷水中之水綿 *Spirogyra* 移置於試驗室中 22°C. 之處,於十四日之後,水綿中觸酵含量較原有者增至十四倍之多。後再移置於 18°C 處二十六小時然後再移置於 0°C. 處,發見水綿中之觸酵含量亦以而大減。二氏即間接的作一斷論,謂觸酵之以溫度而增減,與植物之代謝作用每以溫度而增減,適相脗合,

Knott, 1926 用鉢植芹菜,為試驗材料。謂若增加溫度 10° F, 在二十四小時內。觸酵量即見增加,若以之移置於減低 10° F 處,須於數日後,觸酵量方開始減少。

Jones, 1920 以乾燥之糖槭 *suger maple* 種子在休眠狀態者,分別各置於自 10°C. 至 50°C. 之間;發見溫度增加,確足以增加觸酵作用。惟觸酵作用之以溫度而增加,並不能與 Van

Hoff's Law 之所謂每增溫 10°C., 作用可增至二三倍者相脗合。Appleman 移置冷藏中之馬鈴薯於普通室溫中, 與其他一組之並未經冷藏者相比, 前者之吸呼作用, 與觸酵作用, 均以溫度之增加而得增進。

Magness ann Burroughs 1921-22 以蘋果之貯藏於不同溫度者, 則定其觸酵量與呼吸作用, 其結果似示觸酵作用, 與呼吸作用之總量有相關現象; 惟不能與呼吸作用, 速率之上下, 相並行。

(4)關於光者 Burge and Burge, 1924 以水綿 *Sperogyra parvicalis* 分爲二組, 於同溫 30°C. 之下, 一組置日光中, 一組置黑暗中, 前者之觸酵含量比後者爲大。二氏即下斷論謂是則與光力本可以單獨 (不受熱力之影響) 變更植物之代謝作用, 惟較溫度之效力爲差者相脗合。其實即依二氏實驗之結果而論, 於 18c. 時, 在暗處之一組, 其觸酵作用之增速, 未必較在日光中之一組爲小。(可於下表見之) 故二氏之斷論, 是否有當, 乃屬可疑。

溫度	時間鐘點	3	5	10	13	15	24
	觸酵作增速%						
18°C	在日光中之一組		19%	25%	36%	32%	31%
	在黑暗中之組		9	28%	36%	37%	40%
30°C	在日光中之一組	19%	38%	44%	50%	53%	53%
	在黑暗中之組	22%	25%	34%	36%	36%	30%

Heinicke, 1923 發見萃樹叶之向陽者其觸酵含量, 較在蔭處之叶爲高。然若葉全不見日光, 二十四小時, 則觸酵量

又大增 Heinicke, 1924, 謂萃樹之平行枝或直立枝之皮部,其向陽面之皮部所含之觸酵量,較背陽者為高。

Appleman, 1915 置馬鈴薯於日光中,能使現綠色。其呼吸作用與觸酵作用,得以之並增。

Knott 1926 a. 用菠菜為實驗材料以比較在上午九時與下午三時之觸酵含量,所得結果,似無分別。惟彼之記錄中有四處,似示下午三時之觸酵含量較多。彼之試驗結果,其差誤之由個體變異面起者太多,故不甚可靠。氏及後一文 1926 b. 用菊科植物 oimos 以作試驗,止將此植物之頂芽曝於一日間有十小時之白光 day-light 中,以促頂芽由營養狀態變為生殖狀態,發見此等頂芽之觸酵量,每較在營養狀態者為少。

Moore and Willaman, 1917 發見植物之經氫氰燻蒸 HCN fumigation 者,光合作用,每以之停止,及後得恢復原狀。呼吸作用及觸酵作用亦然,觸酵作用之恢復期,幾與光合作用相同。

(5)關於植物原料之供給者 Biechy, 1924 於菠菜及馬鈴薯行肥料試驗,發見凡曾施鉀肥者,此等植物之觸酵含量少。曾施氮肥及磷肥者,其含量多。對於後者之現象,Knott, 1926 亦云。

Heinicke, 1923, 1924 謂萃果樹之種植於草園 Sod. orchard 者,其葉部及枝條之皮部所含觸酵量,每較少於萃果樹之種植於耕園中者。草園中之萃樹,若行疏枝法 thinning-out, 以救濟氮質之缺乏,亦足以增加其葉部之觸酵量。

(6)關於試驗材料中之含水量者 Falk, McGuire and Blo-

unt, 1919 謂所試之多種蔬菜,一經脫水 dehydration, 每足使所含觸酵,消失其觸酵作用。

(7)關於開花結果之影響者 Heinicke 1924 將萃樹一部之枝,豫行摘去花芽,使其他之枝,任其開花結果。發見於曾經開花結果之枝,其葉之觸酵含量較少於前者之葉,即枝之皮部亦然。

Knott, 1926, 發見菠菜頂端 60 mm. 之處,其觸酵含量之減少與結果枝之增長,有相關現象。及後結果枝之生長停止,營養部之生長恢復,頂端之觸酵含量亦即增加。

(3)以材料個體之部分而異者 Loew 1901 謂烟草之莖與葉中之所含觸酵量幾相等,而較高於在鬚根中之含量。

Heinicke 1923 謂萃樹枝條上頂端之葉,其觸酵含量,較高於在中段之葉,後者又較高於在底部之葉,

Shertz 1921 謂唇形科植物 *coleus* 之對生葉,自頂端下數第三第四對葉之觸酵含量最高。自此上下漸減。

Knott 1926 用菠菜芹菜,亦發見相似之現象。近根部之老葉,與近頂部之嫩葉,所含觸酵量,均不若在中段之葉,含量之高。

Heinicke, 1924 以萃樹一枝上之相連組織,比較其觸酵含量發見韌皮部之含量。較木部為高。二部之離形成層較遠者含量亦較少。在同一圓周上近有芽一面的樹皮,較無芽一面之樹皮,含量為高。葉之含量較木質組織為高。休息芽及癒傷組織 *callus tissue* 之含量,較相連之皮層為高。樹皮之離頂芽愈遠者,含量亦愈少。惟於枝莖相連處之組織 *crotch tissue*, 含量並不最少。

Jones, 1920 發見植物幼株中,胚軸含量最高,幼根子葉次之,種皮含量最少。Crocher and Harrington, 1920 謂小麥之胚,含量 28-29 倍於胚乳,其他生理上不活動之器官,含量乃極低。Merl and Daimer, 1921 謂小麥胚中之含量五倍於小麥麩粉之含量。

(9)關於植物之生長力及種子之發芽力者 Weiss and Harvey 1921 謂植物之以受凍傷及病害,而有過長現象 *over-growth* 者,此等組織之觸酶含量,亦以之增加。反之葉部之生 *mosaic* 病者生長以之萎縮,觸酶含量亦以之減少。Moore and Willaman 1917 謂西紅柿 *Tomats* 經氫氫燻烟法之刺激,其生長及觸酶含量俱得以之增加。

Nemec and Duchon, 1922 謂燕麥及豌豆之發芽力可依其觸酶用之大小測定之。Sampietro, 1923 謂稻之發芽力與其觸酶含量有相關現象。

(10)關於植物內部之化學變化者 多種種子之觸酶含量在後熟期間 *after-ripening* 每得增加作者如 Eckerson, 1913; Crocker and Harrington, 1918; Rose, 1919; Jones, 1920; Pack, 1920 已言之。Pack, 1920 謂種子藏於低溫 5°C . 得促其後熟。以低溫,止足以制止呼吸作用至最低度,同時其他代謝作用,如消化作用等,依舊進行甚速,故在此時期,細胞內可有多量的建築原料 *formative materials* 之積貯。此殆為使種子之休眠器官得以發動之主要原因。在此時期中種子內之化學變化可言者,即有有機酸, *phosphatides*, 還元糖, *pentoses*, 銹基酸,可溶性氮質物,及各種酵素之積貯;及膠體物之擴散 *dispersisn*; 與複雜化合物之變為簡單化合物是也。

依種種實驗之證例 Heinicke 曾有假設,謂若植物內富於有機氮質物,則足以增加觸酵量,富於炭化化合物之存在,則反是。

(三)觸酵作用與呼吸作用之關係

觸酵作用之大小,經 Lesser, 1907; Appleman, 1910, 1911, 1915, 1918; Moore and Willaman, 1917; Burge, 1917, 1919, 1920, 1921; Burge and Leichsenring, 1921; Burge and Burge, 1924 諸氏之測定,謂常得與測定之呼吸作用之大小,成正比例;二作用之曲線弧的上下,亦常得平行。種子發芽時,經 Crocker and Harrington, 1918; Rose, 1919; Jones, 1920; Pack, 1920; Choate, 1921; Atwood, 1922; Bach and Oparin, 1922; Shull and Davis, 1923; Rhine, 1924; Morinaga, 1924; Ota, 1926 實驗之結果,知觸酵作用,常以發芽而增加。同時發芽時之呼吸作用,有經諸氏實測得之者,有僅憑推測者,亦常以種子發芽而增加。惟其如此,諸氏中如 Burge 及其門生下斷論,謂生理上的氧化作用,觸酵實主宰之。其他作者如 Appleman, Crocker and Harrington; Moore and Willaman 等亦深信觸酵之於生理上的氧化作用,較之氧化酵素 Oxidases 尤為重要云。

其他作者,與以上作者所得之結果,不盡相謀,尤以動物生理學者所得之結果為然。Crocker and Harrington, 1918; 及 Sherman, 1921 用莧屬 *Amaranthus* 之種子, Mrs Rhine, 1924 用小麥之種子, Heinicke, 1924 用蘋果樹之皮部等以為試驗材料。所測定二作用之結果,均示二作用無一定之相關現象。動物生理學者如 Amberg and Winternitz, 1911-12 用棘皮類 *Sea*

Urchin 之授精卵子, Zuger, 1915 用下等動物, Morgulis, 1921 用蛙之處於不同之溫度, Rabbaus, 1925 用蛙之肌肉,加以不同量之觸酵, Bialazewicz, 1921 用方發育之蛙, Stehle and McCarty, 1920 測血液中之觸酵量。以上諸氏所得結果,均示二作用常相反而不平行。Reed, 1916, 於研究因子之足以變更觸酵作用時,亦示與以上作者相同之結果。以故動物生理學者如 Stehle, 1919, 對於 Burge 氏之斷論,謂生理上的氧化作用,觸酵實主宰之,曾加以相當之批評謂,“Burge 氏所發見血液中觸酵之量,常得與血液的呼吸作用,成比正比兼得平行;然如此以外,若 Burge 氏能有實驗,足以示血液及組織之氧化作用,確能因觸酵之不同量,而得變更,方足以證氏之斷論”。Dakin, 1921 之意見,亦復如是。謂“如不能於制定環境之下,示觸酵確足以促進已如生物組成物 metabolite 的氧化;所有關於二作用相互關係之推測,原可置之不理”。

至於生理上無氧分解作用 anaebiosis, 與觸酵作用之關係又何若? 至今亦為未定之問題。McLeod and Gordon, 1920; Rywosz, 1922; Callow, 1923; Cluyer, 1924; Stapp, 1924 均曾發見許多無氧微菌 anaerobic bacteria, 並不含有觸酵。Harvey, 1924 曾發見藍藻之一種,名 Phormidium Lanimarium, 生於溫泉中,亦不含觸酵。氏曾以之自誇為植物界組織中不含觸酵之惟一發見。及後 McLeod, and Gordon, 1925 即指出之,謂許多無氧微菌,不含觸酵,最普通者如乳酸微菌,即其一例。以上為至今所發見植物界組織中不含觸酵之有數證例。反之如 Loew, 1901 發見酵母及 black leg 之桿狀微菌(後者為一種完全無氧微菌 obligate anaerobe) 皆能現觸酵作用。氏並謂觸酵之存

在,容或使某種化合物之親和力減少,分任原生質一部工作,不使其化學能力有所妄費。Probraschensky, 1911 於研究小麥幼株中之觸酵時,發見凡物質之能促進酒精醱酵者,亦足以增其觸酵之量;反之亦然。氏之結論謂觸酵作用似不能與無氧分解作用無關。Morinaga, 1925 試驗稻之無氧發芽,所得結果,似示觸酵作用,直接或間接有使種子中之醱酵作用(以發出之炭酸氣之量計之)遲緩之影響。

總觀以上所述,觸酵作用與呼吸作用(不論其為需氧或無氧呼吸作用)之相關證例,皆為間接的而非直接的,決不能有肯定結論之可言。即以間接證例,而論諸作者所得結果亦未得一致。

動植組織中,觸酵之存在,既極普遍。其非為生活細胞之一種無用產出物可知,故似必具有一定之功用可言。對於觸酵之功用,學說不一。然皆至今皆有未能依實驗之結果以證實之者。

Loew, 1901 氏之學說。其假定為生活細胞,以呼吸作用之結果,有過氧化氫產生之可能。觸酵之功,在使之立即分解,以形成對於生活細胞無害之氧與水。生物之含觸酵,殆為一種自衛作用。

Usher and Priestley, 1905 深信植物行光合作用時,有多量過氧化氫生成之可能。若無觸酵之存在,以促其分解,則枝葉中之葉綠素必以之而脫色 bleaching; 二氏以提取之葉綠素溶液,無觸酵者,一加過氧化氫,即行脫色。其含觸酵者則否。

Shaffer, 1905 依觀察所及,尿酸在過氧化氫溶液中,甚易

氧化。若溶液中加以觸酵，尿酸即不起氧化作用。是則以過氧化氫，經分解後所發出之氧，乃為分子狀態，其氧化力較劣於過氧化氫。氏謂觸酵之功用，殆以其能促進過氧化氫之分解，以成氧化力較弱之氧。如此則生活細胞之氧化作用，不致過烈。

Herliztka, 1906 與 Shaffer 之意見略同，謂當細胞中有過氧化氫或過氧化氫酵素 peroxidases 之存在，觸酵實具相當之保護作用。氏用定量分析法，以測定 guaiacum (為一種植物膠) 為過氧化氫酵素而起之氧化作用。發見此種氧化作用，常以同時有觸酵之存在而大減。

Battelli and Stern, 1904 發見硫酸鐵之氧化作用，常以含觸酵的動物組織之存在而大減。

Baly, Heilborn, and Hudson 1922 研究綠色植物，由碳酸氣與硝酸鹽，以組成氮質化合物之問題時，曾提示觸酵實為硝酸經還元作用變成亞硝酸之主因。此則與較早 Pozzi-Escoi, 1905 之觀察相同，謂觸酵實能使硝酸還元。

以上所述，關於觸酵功用之學說中，當以 Loew 的學說，最為一班研究者，如 Shaffer, 1905; Herliztka, 1906; Dakins, 1921 所歡迎。此學說之最不圓滿處，即生活細胞營氧化作用時，是否確有過氧化氫之形成。理論上雖有可能，而事實上尚未得以試驗證實之。

依 Erlenmyer 1877 之一炭間質說。碳酸氣與水入細胞液中，連結以碳酸。碳酸再與一分子之水，連結以成蟻酸與過氧化氫。所成之蟻酸由分子連結，以成一炭間質，再進而為葡萄糖。此假設 Pfeffer 1900 極反對之，謂在行光合作之

植物中,既不能用各種試驗以示過氧化氫之存在, Erlmeyer 之學說,可不打自破。反之 Loew 頗然之,謂用各種化學藥品不能試出過氧化氫之存在,此反證並不足以證明植物細胞中,決無過氧化氫之形成。此恐以過氧化氫之存留,為時甚暫,幾無時間性之可言 ephemeral existence.

Dakin, 1921 謂依 Wieland 氏滅氫作用之氧化說 Wieland's theory of oxidation by dehydrogenation, 當物質氧化時,有原子狀氫之發出。若此原子狀氫為分子狀氫所接受,即成過氧化氫。以故 Dakin 深信組織氧化時其間開始產生物乃為過氧化氫,而非為水。同時氏又深信過氧化氫分解之神速,有若氧與氫相接觸爆裂一斑。故氏甚推崇 Loew 之學說謂甚有可信之理由在焉。

McLeod and Gordon, 1925 發見微生物之乏觸酵者,若其體部起還元作用,以之有原子狀氫,之發出一過氧之存在,即有過氧化氫之形成。

Hagan, 1924, 1925 發見一種分枝絲狀微菌名 *Actinomyces necrophorus*, 與一種球狀微菌名 *alpha or viridis type of streptococcus*, 二者若與空氣接觸時,確有過氧化氫之形成。前一種所產生之過氧化氫,較為不固定。若其產出量達 0.1% 時,已足使此微菌之生長緩慢。

Burnet, 1925 以純粹之球狀菌 *Staphylococcus* 曝之日光中,亦有極微之過氧化氫生成。其量已足阻止其生長。氏深信於培養之微菌羣落中,若加以觸酵及可滲透之物質,可使微菌之環境適於生長。此則與 Schlunk, 1924 之觀察略同。氏謂微菌之含觸酵多者於有過氧化氫之存在時,生長亦最

茂盛；其不含觸酵及含量不多者，則每以過氧化氫之存在而受損害反之。依 Bach and Chodat, 1904 之意見，則以爲 Loew 之學說爲不可能。以有多種無氧微菌，既不形成過氧化氫，何以亦每含有觸酵，與需氧微菌相同。二氏又謂過氧化氫並不如一班人所信之爲有極毒。植物之種植於培養基中含過氧化氫至 0.68% 者，亦不受損傷。及後 Read 1921 之試驗，似證實之。小麥稻萊菔之幼株，種植於培養基之含過氧化氫至 0.5—1% 時，亦足以生長，而不受損害。

除此以外，Loew 學說之不圓滿處，即觸酵能促過氧化氫之分解，而不能促有機的過氧化氫化合物之分解是也。其實與生理上的氧化有關之化合物，大都爲後者之含氧化合物，而非過氧化氫。Bach and Chodat, 1904; Morgulis, 1922 皆謂觸酵不能促進過氧化醯精 ethyl peroxides 之分解。Reed 氏用膠質狀態之鉍以作觸媒，亦示相同現象。

就觸酵之性狀而言，Loew 深信其爲一種氧化酵素 Oxidizing enzyme，以葡萄糖檸檬酸及 hydrogen quinone 一遇觸酵，即起氧化。但 Shaffer, 1905 則謂 quinone 之生成，並非觸酵之作用，乃爲他種酵素所致。氏謂動物組織總含觸酵，並不能使 hydro-quinone 氧化。

以上云云，不過述諸學說之梗概，並及其互相衝突之證例，於以知是等學說尙未脫假定時期耳。

參 考 文 獻

- Amberg, S. and Winternitz, M. C.—The Catalase of Sea Urchin Eggs before and after Fertilisation, with Reference to the Relation

-
- of Catalase to Oxidation in General. *Journ. Biol. Chem.* 10: 295—302, 1911—12.
- Appleman, C. C.—Some Observations on Catalase. *Bot. Gaz.* 50:182—192, 1910.
-Relation of Catalase and Oxidases to Respiration in Plants. *Md. Agr. Exp. Sta., Bul.* 91, 1915.
-Respiration and Catalase Activity in Sweet Corn. *Am. Journ. bot.* 5:207—209, 1918.
- Atwood, W. M.—Physiological Studies of Effects of Formaldehyde on Wheat. *Bot. Gaz.* 74:233—263, 1922.
- Bach, A. and Chodat, H.—Ueber der Gegenwartigen Stand der Lehre of lanzlichen Oxidationsfermente. *Biochem. Centralbl.* 1:417—421, 1900.
- Bach, A. and Oparin, A.—Ueber die Fermentbildung in keimenden Pflanzensamen. *Biochem. Ztschr.* 134:183—189, 1922.
- Baly, E., Heilbron, I., and Hudson, D.—The Photosynthesis of Nitrogen Compounds from the Nitrates and CO₂. *Chem. Soc. (London) Journ.* 121:1078—1088, 1922.
- Bacelli, N., and Stern, L., *Compt. Rend. Acad. Sci.* 141:916—918, 1902, mentioned by Reed.
- Becking, L. G. M.B.—The Significance of Latency Time in Enzyme Determination. *Journ. Gen. Physiol.* 3:653—656, 1920—1921.
- and Hampton, H. C.—Measurement of the Catalytic Power of Catalase. *Amer. Journ. Bot.* 7:261—274, 1920.

- Biechy, T.,—Können Fermentwirkungsmessungen zur Beuteilung der Vitalität wichtiger Kulturpflanzen herangezogen werden? Fermentforschung 8:145—166, 1924.
- Bunzel, H. H.,—A Simplified and Inexpensive Oxidase Apparatus. Journ. Biol. Chem. 17:409—411, 1918.
- Burge, W. E., and Burge E. L.,—Effect of Temperature and Light on Catalase Content of Spirogyra. Bot. Gaz. 77:220—224, 1924.
- Burnet, F. M.,—Hydrogen Peroxide and Bacterial Growth. Austral. Journ. Exptl. Biol. Med. Sci. 2:65—67, 1925. Abst. in Chem. Abst. 19:2836, 1925.
- Callow, A. B.,—Catalase in Bacteria and its Relation to Anaerobiosis. Journ. Path. and Bact. 26:320—325, 1923.
- Choate, Helen—Chemical changes in Wheat During Germination. Bot. Gaz. 71:409—425, 1921.
- Crocker, W., and Harrington, G. T.,—Catalase and Oxidase Content of Seeds in Relation to their Dormancy, Age, Vitality and Respiration. Journ. Agr. Res., 15:137—173, 1918.
- Dakin, H. D.,—Physiological Oxidation. Physiol. Rev. 1:394—420, 1921.
- Eckerson, Sophia—A Physiological and Chemical Study of After-ripening. Bot. Gaz. 50:286—300, 19
- Euler, Hans—(Trans. by Pope, T. H.) General Chemistry of Enzymes, New York, 1912
- and Ragner, B.,—Verstärkung der Katalase wirkung in Hefezellen

- Ztschr. Physiol. Chem. 105:82—114, 1919.
- Falk, K. G., McGuire, G., and Blount, E.,—Studies on enzyme action. XVII, The Oxidase, Peroxidase, Catalase, and Anylase of Fresh and Dehydrated Vegetables. Journ. Biol. Chem. 38:229—244, 1919.
- Hagan, W. A.,—Formation of Peroxide by *Actinomyces necrophorus* on exposure to Air in Relation to Anaerobic Plate Culture Journ. infect. dis. 35:390—400, 1924.
- Hampton, H. C. and Becking, L. G. M. B.,—Journ. g. Physiol. 11:635, 1920.
- Harvey, R. B.—Hardening Process in plants and development from frost injury. Journ. Agr. Res. 15:23—111, 1918.
-Relation of Catalase, Oxidase, and Hydrogen Ion Concentration to the formation of Overgrowth. Amer. Journ. Bot. 7:211—221, 1920.
-Enzyme of thermal algae. Science 60:481—482, 1924.
- Heincke, A. J.—Factors influencing catalase activity in apple leaf tissue. Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Mem. 62. 1923.
-Catalase activity in dormant apple twigs: its relation to the conditions of the tissue, respiration, and other factors. Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Mem. 74. 1924.
- Jones, H. A.—Physiological Studies of the Maple Seed. Bot. Gaz. 69:127—152, 1920.
- Kastle, J. H.—The Oxidases. Public Health and Marine Hospital Service U. S. Hygiene Lab. Bul. 59:132—140, 1909.

Kluyver, A. J.—Notiz ueber des Vorkommen von Katalase bei Mikroorganismen. Ztschr. Physiol. Chem. 138:100—101, 1924.

Knott, J. E.—Thesis for degree of Doctor of Philosophy, Cornell Univ., 1926a.

.....Further localization of the response in plant tissue to relative length of day and night. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 23:67—69, 1926b.

Lesser, E. F.—Zur Kenntnis der Katalase II. Ztschr. f. Biol. 49:575—583, 1907.

Loew, O.,—Catalase, a new enzyme of general occurrence. U. S. D. A. Rept. 68:1—47, 1901.

Lyon.—Amer. Journ. of Physiol XXV:99, 1909—mentioned by Amberg and Winternitz.

Magness, J. R. and Burroughs, A. M.—Studies in apple storage. Relation of storage temperatures. Second Report, Marble Lab. Canton, Pann. 17—98, 1921—1922.

McLeod, J. W.—Bacterial Catalase Science 61:630, 1925.

and Gorden J.—The production of hydrogen peroxide by bacteria. Biochem. Journ. 16:499—506, 1922.

.....Catalase production and sensitiveness to hydrogen peroxide among bacteria: with schemes of classification based on these properties* Journ. path. and bact. 26:326—331, 1923.

.....The problem of intolerance of oxygen by anaerobic bacteria.

- Journ. path. and bact. 26:332—342, 1923.
-The relation between the reducing powers of bacteria and their capacity for forming peroxide. Journ. path. and bact. 28:155—164, 1925.
- Michaelis, L. and Pechstein, H.—Biochem. z. liii 320, 1913—mentioned in Euler's *Chemie der Enzyme, I Teile: Allgemeine Chemie der Enzyme*, Muchen, 1925.
- Moore, W. and Willaman, J. J.—Studies on groonhous fumigation with hydrocyanic acid; physiological effects on the plant. Journ. Agr. Res. 11:319—338, 1925.
- Morgulis, S.,—A Study of Catalase Reaction. Journ. biol. chem. 47:341—375, 1921.
-Is Catalase a Measure of Metabolic Activity? Amer journ. Physiol 57:125—135, 1921.
- Morinaga, T.—Catalase activity and the aerobic and anaerobic germination of rice. Bot. Gaz. 79:73-84. 1925.
- Nemec, A. and Duchon, F.—Sur une nouvelle method biochemique pour la determination de la faculte vitale des semences. Ann. Sci. agron. 6th. series, 121-150, 1923.
- Noguchi, Y.,—Activity of several kinds of rice in storage. Sci. Agr. Soc. (Japan) Journ. 245:115-120, 1923.
- Nothrop, J. H.—The kinetics of the decomposition of poroxide by catalase. Journ. Gen. Physiol. 7:373-387, 1925.
- Osterhout, W. J. V.—Notes on measuring the relative rate of life processes. Science 48:172-174. 1918.

- Ota, J.—Continuous respiration studies of dormant seeds of *Xanthium*.
Bot. Gaz. 80:288-299, 1925.
- Overholser, E. L.—Thesis for degree of Doctor of Philosophy, Cornell
Univ. 1926.
- Pack, D. A.—After-ripening and germination of *Juniperus* Seeds Bot.
Gaz. 71:32-60, 1920.
- Pozzi-Escott, M. E.—The reducing enzymes. Ames. Chem. Journ.
29 : 517-563, 1903.
- Preobraschensky, B.—On the physiology of plant catalase. Abstr.
in Exp. Biol. 2 : 121, 1911.
- Reed, G. B.,—The Separation of Oxidase Reaction from the Catalase
Reaction. Bot. Gaz. 62 : 303-310, 1916.
-The relation between oxidase and catalase in plant tissues.
Bot. Gaz. 62:409-412.
- Rhine, L. T.—Divergence of Catalase and Respiration in Germination.
Bot. Gaz. 78:46-67, 1924.
- Rose, R. C.,—After-ripening and germination of seeds of *Tilia*,
Sambucus, and *Rhus*. Bot. Gaz. 67:281-306, 1919.
- Rywes, D.—Katalyse des H_2O_2 durch Bacterien. Bor. Ges. Physiol.
12:297.
- Sampietro, G.—(Italian title) Abst. in Chem. Abst. 186:1317, 1924.
- Shertz, F. M.—Chemical and physiological Studies of Mottling Leaves
Bot. Gaz. 71:81-230, 1921.
- Schulunk, F.—Der Zweck der Katalase bei den Bakterien und ihr
Bewertung als Ferment. Centbl. Bakt. 1:116-124, 1924.

- Senter,—Das Wasserstoffsuperoxydzertzende Enzyme der Blutes.
Zeitschr. Physical Chem. 44:257-273, 1903; 55-673-705,
1905.
- Schoenbein.—Ueber die katalische Wirksamkeit organischer Materien
und deren Verbreitung in der Pflanzen Tierwelt. Journ. f.
prakt Chem. 98:323-344, 1863.
- Shaffer, P. A.—Some observations on the enzyme Catalase. Amer.
Journ. Physiol. 14:299, 1905.
- Shull, C. A. and Davis, W. B.—Delayed Germination and Catalase
Activity in Xanthium. Bot. Gaz. 75:268-281, 1923.
- Stapp, C.—Weitere Beitrage zur Kenntnis der Bakterinfermente
Centbl. Bakt. 1:92:161:193, 1924.
- Stehle, R. S.—Some data concerning the alleged Reaction of Catalase
to Animal Oxidations. Journ. Biol. Chem. 39:403-420,
1919.
- and McCarty, A. C.—Further data concerning the alleged rela-
tion of catalase to animal oxidations. Journ Biol. Chem.
42:269-272, 1920.
- Usber, F. I. and Priestley, J. H.—A Study of the Mechanism of
Carbon Assimilation in Green Plants. Roy. Soc. (London)
Proc. 77B:369-376, 1905, and 78B:318-327.
- Weiss, F. and Harvey, R. B.,—Catalase, hydrogen ion concentration
and growth in potato wart disease. Journ. Agr. Res.
21:589, 1921.
- Zieger, R.—Zur Kenntnis der Katalase der niederen Tierre. Biochem.

Zeitschr. 79:39-110, 1915.