

狐狸狂犬病之流行病學

(Epidemiology of Fox Rabies)

作者

Bernard Toma and Louis Andral

出處

Advances in Virus Research 21: 1~36.

目錄

I. Introduction	1
II. Descriptive Epidemiology	2
A. Distribution in Space	3
B. Distribution in Time	5
C. Animals Affected	8
III. Analytical Epidemiology	11
A. Ecology and Behavior of the Fox	12
B. Infection of the Fox by Rabies Virus	15
C. Analysis of Transmission	16
IV. Synthetic Epidemiology	18
A. Development in Time	19
B. Development in Space	22
V. Prospective Epidemiology	23
A. Studies of Moegle and Associates	23
B. Studies of Bögel and Associates	26
C. Computer Models	29
VI. Prophylaxis Against Fox Rabies	31
A. Rabies in Domestic Animals	31
B. Rabies in Wild Animals	31
VII. Conclusion	31
References	35

I. 引言(Introduction)

雖然狂犬病疫苗不斷的在更新，但都市狂犬病與野生動物狂犬病仍然在全世界廣泛分布。在非洲與亞州，以狗型之都市狂犬病為主，尤其是流浪狗，是重要之保毒動物。在中美洲與南美洲，吸血蝙蝠(vampire bat)是重要的保毒動物。在歐洲，蝙蝠不攜帶狂犬病病毒(但攜帶歐洲一型、歐洲二型之麗莎病毒)。歐洲都市狗型狂犬病已經被控制，代之以狐狸型野生動物狂犬病。歐洲目前狐狸之族群數在本世紀增長了 2~4 倍，其原因很多，包括天敵之消失等。控制狐狸疫情之方法比狗株狂犬病困難，主要是因為狐狸之族群數太高。本文是過去 15 年歐洲狐狸狂犬病疫學之研究資料彙整。

II. 描述性疫學(Descriptive Epidemiology)

感染狐狸型狂犬病之狐狸共有三種，在格陵蘭、北加拿大、俄國主要是白狐(white fox)，又稱極狐(arctic fox)，學名是 *Alopex lagopus*；在中歐、西歐、加拿大南部，主要是紅狐(red fox, *Vulpes vulpes*)；在美國有紅狐與灰狐(gray fox, *Urocyon cinereoargenteus*) 二種。本文主要是討論三十年來歐洲狐狸狂犬病之疫情。圖 1 與圖 2 分別是狂犬病在全世界與西歐之分布概況。

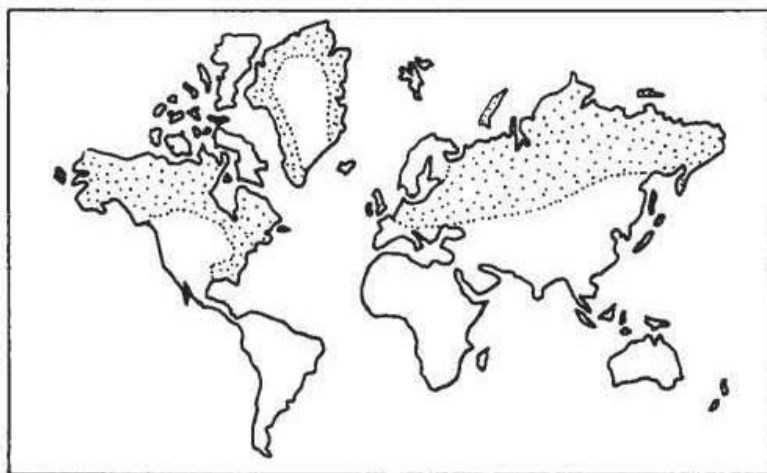


FIG. 1. Map of the world distribution of vulpine rabies.
狂犬病之世界分布圖 -

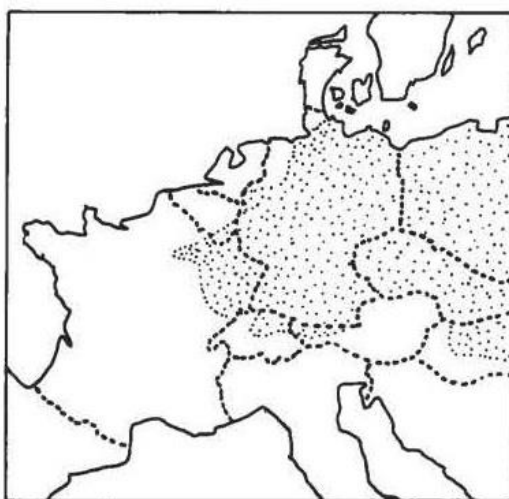


FIG. 2. Map of the areas of western Europe affected by the rabies enzootic in 1975. 西歐狂犬病疫區

歐洲狐狸型狂犬病(vulpine rabies)主要發生在狐狸與獾(badger)。從 1935 年在波蘭出現後往西蔓延。依次為：丹麥 1964 → 比利時/盧森堡/奧地利 1966 → 瑞士 1967 → 法國 1968 → 荷蘭 1974。狐狸狂犬病之疫情逐漸取代狗型。

A. 空間之分布(Distribution in Space)

歐洲疫情擴散之方向是往西與南。以法國(圖 3)為例，取狐狸狂犬發生之座標，將每 2 年之疫情前鋒(front)座標連線可得一線。從每二年前鋒線之位移距離，可計算出疫情之擴散速度。圖 3 顯示疫情前進之速度並不一致，在德國/荷蘭邊境幾乎停滯，在其他地區一年甚至會超過 100 km。平均每年前進 30~60 km。

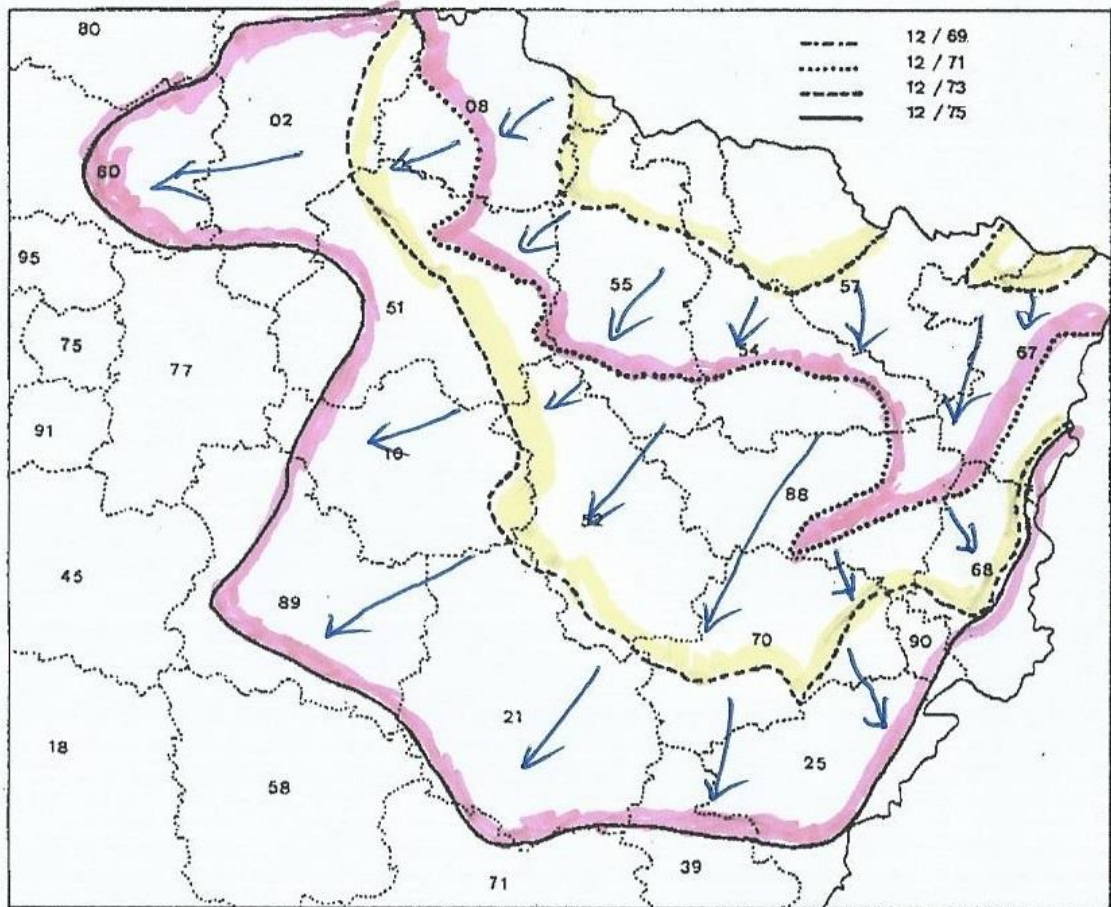


FIG. 3. Progression of the front of the vulpine rabies enzootic by 2-year periods from 1968 to 1975 in France. The numbers refer to provinces.

法國狐狸狂犬病擴散圖：從1968~1975每二年之疫情前鋒(front)。號碼是各省之編號。

B. 時間之分布(Distribution in Time)

根據每年與每月之發生案例，可分析出很多資料。

1. 年度數據之分析結果：大區域與小區域之年發生案例之消長不同。

a. 小區域(Areas of limited size)

小區域以比利時與盧森堡為代表。圖 4 與 5 均顯示疫情在發生之前一、二年很多病例發生，然後案例開始下降，甚至沒有案例；之後又再出現

較第一次爆發時較小之規模疫情。(台灣會像小區域國家如比利時、盧森堡之疫學型態。)

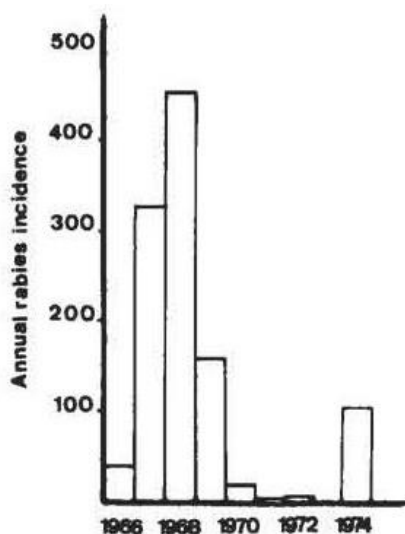


Fig. 4. The annual incidence of rabies in Belgium from 1966 to 1974.
1966~1974 比利時狐狸狂犬病之疫情圖。

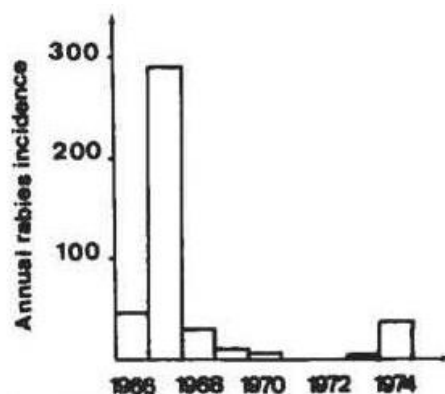


Fig. 5. The annual incidence of rabies in Luxembourg from 1966 to 1974.
1966~1974年盧森堡狐狸狂犬病疫情圖。

b. 大區域(Larger areas)

圖 6 顯示法國在 1968~1975 之疫情圖。從該圖可見每年之案例持續穩定的增加；這些數據就是法國所有各小區域彙整後之總和數據。如果只檢視法國境內之某一省或某一小區域，其疫情圖型就與比利時、盧森堡一樣之格式(圖 7)。

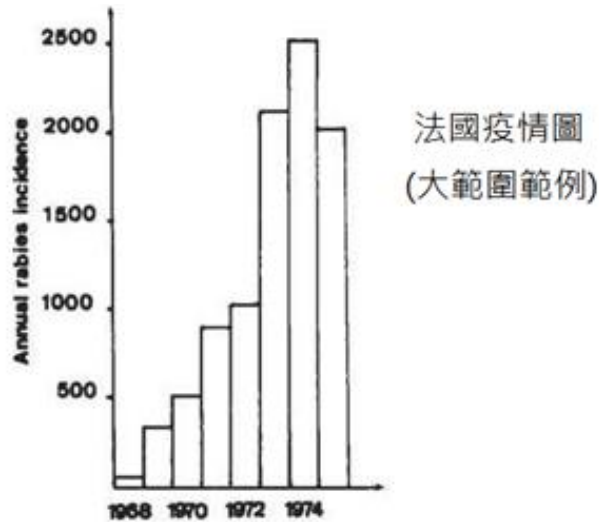


FIG. 6. The annual incidence of rabies in France from 1968 to 1975.
1968~1975法國全國狂犬病數目疫情圖。

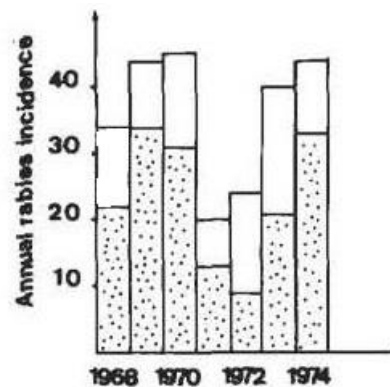


FIG. 7. The annual incidence of rabies in the French province of Moselle from 1968 to 1975. The stippled bars correspond to cases recorded in domestic animals; the rest, to wild animals.

1968~1975 法國Moselle省狂犬病疫情圖。上面白色條圖是狂犬野生動物發生數目，下面點條圖(stippled bars)是狂犬家畜發生之數目。

c. 不同物種每年之疫情(Annual incidence according to species)

基本上，疫區其他非保毒動物(如牛、狗貓等)發生率之消長曲線會彼此平行移動，因為牠們不是保毒動物，疫情會隨保毒動物擴散狀況上下波動。但也受到各物種本身特性之影響。如貓與野生動物接觸較多，故感染率高。而牛則因為放牧之關係，夏天晚上在開放式牧區被狂犬狐狸咬的機會大，故夏天疫情較高等等。

2. 狂犬病每月疫情之消長(Monthly incidence)：按月分析疫情可以讓我們知道一年之中，那些季節對疫情之影響意義。

- a. 狐狸：一般言之，五月至六月疫情最低，然後漸增，在二月與三月最高。如圖 9。

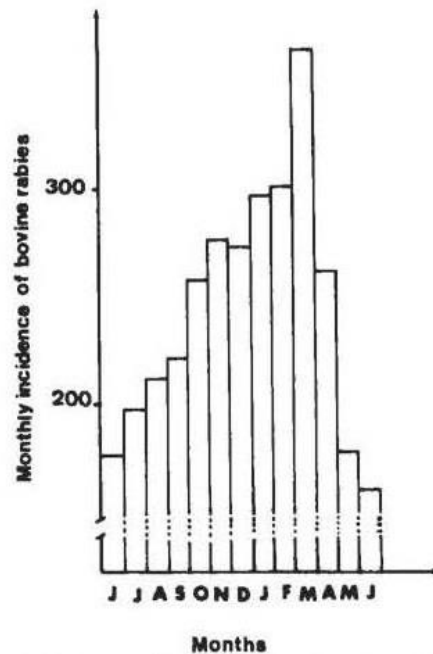


FIG. 9. The monthly incidence of bovine rabies in West Germany from June 1968 to June 1969. 德國牛之「月疫情圖」，從1968六月至1969六月。

- b. 牛：牛狂犬病之疫情每年之消長曲線都一致，疫情都是從下半年開始升高，從十二月開始下降，至次年四月為止。(圖 10)。

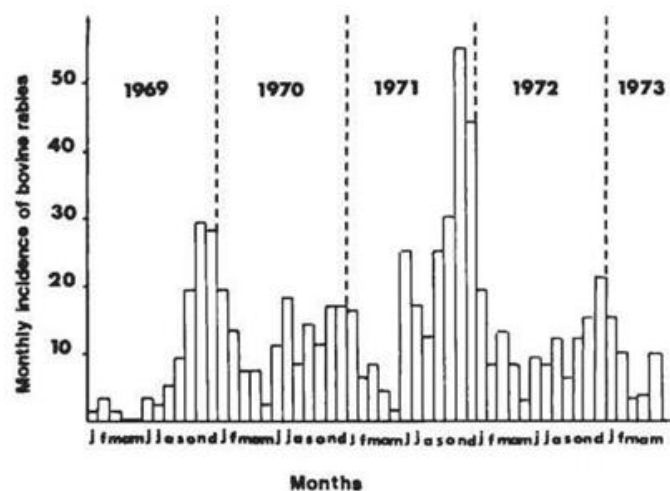


FIG. 10. The monthly incidence of bovine rabies in France from 1969 to 1973. 1969~1973 法國牛狂犬病之每月疫情。

C. 受到影響之動物(Animals affected)

野生動物：狐狸、獐(roe deer)、獾(badger)、石貂(stone marten)、貂(marten)、雞貂(polecat)等。家畜：豬、牛、羊、狗、豬等。

1. 重要之野生動物(The preeminence of wild animals)：除狐狸之外，野生動物尚有獐(roe deer)、獾(badger)、石貂(stone marten)、貂(marten)、雞貂(polecat)等。齧齒類：罕見。
2. 在家畜之感染率(Percentages of infection in various domestic animal species)：主要感染之家畜為：豬、牛、羊、狗、豬等物種。注射疫苗之家畜感染率會降低，如狗、牛。家畜中感染率最高的是貓，因為貓愛亂跑，故感染機會比其他家畜大。德國與法國之紀錄，均顯示各種家畜病例數均一致按月份消長，主要原因是這些都是被狐狸感染，故均因狐狸族群每月之消長變化成正相關。當狐狸多時，其他動物之被感染機率就高，反之亦然。圖 11 指出：狐狸是保毒動物(感染源)，會感染其他動物，其他動物隨著狐狸(自變數)而呈正相關變動(因變數)之流行病學現象，稱為附帶現象(epiphenomenon)。病毒株會在保毒動物狐狸族群內藉著感染(fundamental cycle)維持病原巢。

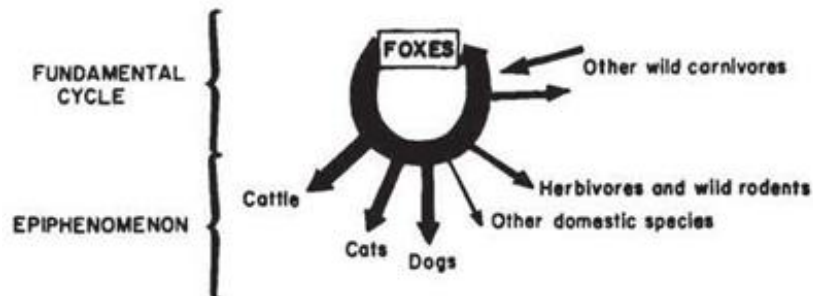


FIG. 11. The epidemiologic cycle of vulpine rabies.
狐狸狂犬病之流行病學。

III. 分析性流行病學 Analytical Epidemiology

前面所述之內容均屬於描述性流行病學(Descriptive Epidemiology)。本章是分析上述現象之發生因素。分析之項目有：A.生態與行為，細項有：1.棲地與食物；2.族群數消長；3.行為學；B.狐狸是保毒動物；C.傳染機轉。

A. 生態與行為

1. 棲地與食物

棲地：

紅狐可以為了食物住在海拔 3,000 公尺山地，或住在沙漠。在溫帶氣候區，主要築窩之地理條件是：半開放空間、視野遼闊、有灌木之森林區、靠近農地。有些狐狸喜歡選擇空樹幹，甚至住在人類廢棄之房舍。

食物：

胃內容物與糞便之研究顯示狐狸是雜食性，主要食物是野鼠，其他依季節變化有野兔、鼠類、松鼠、家畜(幼羊)、鳥禽、兩棲類、蝸牛、蚯蚓、蛞蝓、守宮、水果。

2. 族群數消長

公狐在冬季發情，主要是一月~二月。非發情季節不交配。母狐發情期僅 3 週 90%可懷孕。懷孕期 50 天(49~56 天上下)。三月~四月生產。每胎生 4~5 隻。若無死亡，理論上每年可增長三倍。母狐照顧幼狐 6~7 週，四月齡成熟獨立。十月齡或次年年初即可配種。壽命 15 年，平均 10 年；但飢餓、疾病造成 70%之族群都在一歲以下。

族群估算法：

共有三種估算法，方法與地區之差異性均甚大。一、是根據獸穴數+每個獸穴之平均狐狸數估算；二、是根據捕捉與再捕捉率(capture-recapture rate)估算；三、是根據固定面積之打獵數目估算。

3. 行為學

紅狐之行動十分獨立，可在半黑暗的環境覓食。有固定棲所。活動範圍視食物之分布、缺乏程度，以及因季節性求偶而有不同之擴展範圍。勢力範圍靠糞便、尿、分泌腺體辨識。發情期勢力範圍會按照母狐之分布(求偶)擴大，一般不超過 10 km，但也有至 50 km~100 km~150 km 之紀錄。母狐之勢力範圍比公狐之運動範圍要少。研究一：共觀察了 65 隻公狐之運動記錄，發現平均之活動範圍有 42 km (極端 0.8 km ~ 336 km)；研究二：共觀察了 47 隻母狐之運動記錄發現平均之活動範圍有 11.4 km (極端 0.8 km ~ 77 km)。有 78% 之公狐在出生後一年內會離開出生之地。33%之母狐在出生後一年內會離開出生之地。結論：狐狸正常之運動範圍僅有數公里，但有少數，主要是年輕之公狐之行為可真正稱得上是「遷徙 migration」，運動範圍超過數十公里。這些事實與狐狸狂犬病之流行病學關係密切。狐狸之社會互動對狂犬病之流行病學影響力(相關性)低。

B. 狐狸狂犬病病毒之感染性(Infection of the fox by rabies virus)

狐狸對狂犬病病毒之敏感性高過臭鼬。彼此間以互咬之方式進行感染。感染後經過一個過程後死亡。如下圖。

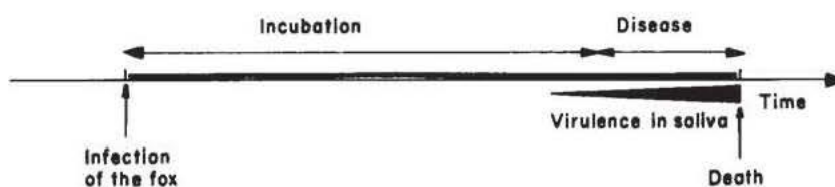


FIG. 12. Progress of rabies virus infection in one fox.

潛伏期約 26~30 天上下。發病期為 3~4~7 天，此時唾液會分泌病毒，動物靠咬。約有半數狐狸會有狂躁(furious)現象。有 40%之狐狸是因頭部被咬而感染。發病者會失去正常天性，瘋狂攻擊人類與家畜。但無法確實了解當口水中有病毒時之運動距離。狐狸在被感染後至感染另一隻狐狸之距離無法估測。但知道有二個控制因子：(1)感染後若仍舊在棲息地範圍內，那要觀測運動之平均距離；(2)漫無目的前進之狐狸，要計算其行走之距離。結論：在臨床症狀出現之前唾液可分泌病毒 5~6 天；在此之前之潛伏 3~4 週不具有傳染力，真正發病時間很短。故其散佈是靠接力賽的方式進行。

C. 散佈之分析(Analysis of transmission)

狂犬病病毒可以以下圖表示散佈之概念：

Fox → Fox → Fox → Fox

已感染狂犬病毒之狐狸，在潛伏期不具有傳染力，等於是散佈進展之“煞車”，這會使疫情之進展延遲數週。然後，按照遇到其他狐狸之機會，大約是距離其巢穴數百公尺至數公里之範圍，將病毒傳給其他狐狸。此機轉是導引狂犬病疫情最前線疫情之數學模型。真實之傳播鏈概念如下圖 13 所示。

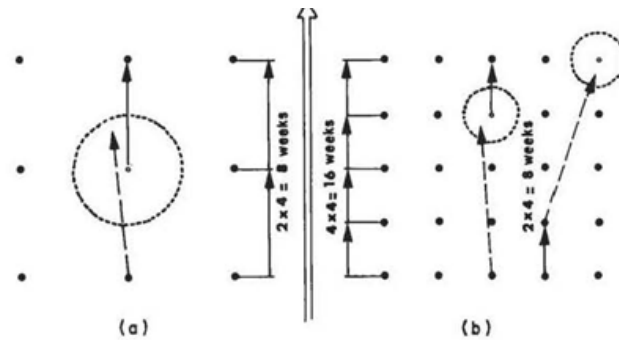


FIG. 13. Comparative transmission of rabies virus within two fox populations of different densities. (a) Low density. (b) High density. KEY: ●, center of each fox's territory; open arrow, main direction of progression of the rabies enzootic; solid arrow, viral transmission between neighbors over a 4-week period; dashed arrow, viral transmission from a "migrant" over a 4-week period.

圖13分ab二圖。a圖指出，在低密度狐狸區，每隻狐狸彼此之間隔會大於圖13b所示之高密度狐狸區。在低密度狐狸區，狂犬狐狸在傳播至另一隻狐狸時，所走之距離必然會大於高密度狐狸區；故低密度狐狸區罹患狂犬病之數目雖然較少，但傳播之距離會較高密度狐狸區要更遠。

這種理論僅適用於定棲性狐狸(sedentary fox)，對於遷徙型狐狸(migrant fox)將不適用。以上事實說明了一項重要之防疫措施：**撲殺狐狸降低族群密度並不會降低疫情之擴散速度**。Reduction in density of a fox population, owing to control measures, does not bring about a reduction in the rate of progression.

閾值(threshold value)：

當狐狸之族群密度低於某一個數目時，因為狐狸彼此接觸之機率降低至狂犬狐狸無法遇到另一隻狐狸，此時狂犬病之散佈與疫情將會停止，此密度值稱為閾值 (When the density of a fox population is above a certain threshold corresponding to a good probability that a fox will encounter another fox during the contagious period of virulent excretion.) 究竟閾值是多少？有不同之研究報告：1 fox/250 hectares, 或 >1/500 hectares etc.。WHO(1970)認為：閾值是一個理論上確實存在的值，只是至今尚無法訂出閾值是多少。但理論上，如果某一區域之狐狸數目在閾值以下，即使有狂犬狐狸進入此區，也無法造成疫情。此理論固然合理，但至今尚無應用成功之例。

IV 合成(區域)流行病學(Synthetic Epidemiology)

A. 時間對疫情之影響(Development in Time)

1. 季節性變化(Seasonal Fluctuations)

從每年六月開始之前三個月，牛之狂犬病疫情開始呈現規律性之成長。如圖 9 所示，牛之疫情從六月開始升高，持續九個月後下降。疫情之消長與狐狸之出生、成熟、求偶、短潛伏期有關。從九月以後的六個月期間，是第二代狐狸成熟階段。年輕之雄狐必須要離開父母開拓建立自己的領土與家庭，故此階段之狂犬狐狸有三分之二是雄狐，其中有 65% 是年輕之雄狐。這也是雄狐擴展狂犬病疫情勝過雌狐的原因。

至於牛之狂犬病疫情，則與(1)狐狸之疫情，以及(2)從四月至十一月牛之放牧期所發生之疫情相互輝映。在歐洲，幾乎所有之牛之疫情均與狂犬狐狸+牛之放牧期有正相關。牛之疫情都是發生在森林附近放牧的牛，通常都是在夜晚，被住在森林內之狂犬狐狸咬傷而罹患狂犬病。每年牛之狂犬病疫情之消長，都會跟狐狸之疫情一致，但會比狐狸之疫情晚 2~3 個月。當牛在十二月停止放牧進入牛舍後一個月，是牛疫情之最高峰，嗣後牛的疫情就會結束。在春天，僅有極罕見之牛在牛舍中發生，這些病例都是因為有些牛之潛伏期較長之故。

2. 疫情之長期動態(Long-Term Kinetics)

在固定面積之地區，狂犬病疫情會每隔數年，呈現一個週期性之消長，如比利時、盧森堡等。其原因是狂犬病之發生與狐狸之族群數有相關性，疫情變化(因變數)會隨狐狸之族群數(自變數)之上升/下降而上升/下降：狐狸族群數高時疫情會升高，狐狸族群數下降疫情也會下降，二者成正比。

無論任何地區，當第一次爆發狂犬病時，大約有 50% 之狐狸會感染狂犬病死亡。狐狸族群數之降低，使該地區狐狸之「食物競爭」相對的降低，狐狸之族群數會升高。像這樣因族群數之增長，會使疫情也增長。

在 1956~1969 時期，德國在狐狸巢穴廣泛施用毒氣糞以降低狐狸族群數，結果：當狐狸之族群數降低後不久，狂犬狐狸數就會升高，驗證了上述「疫情變化(因變數)會隨狐狸之族群數(自變數)之上升/下降而上升/下降」之理論，由下圖 14 可資證明。故目前狂犬病之防疫已經不再使用降低族群數之方式。

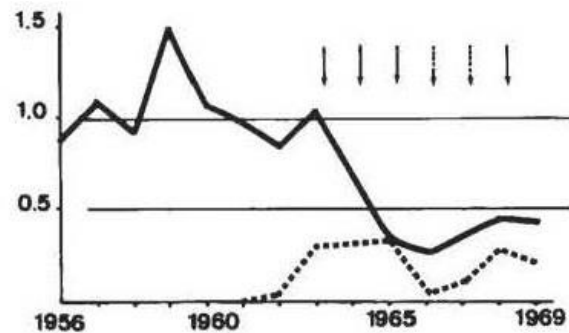


FIG. 14. Changes in fox population density and rabies incidence in the Swabian Jura area (7.191 km²) of Baden-Württemberg, West Germany, from 1956 to 1969. (From World Health Organization, 1972.) The ordinate shows the number of foxes killed per year per square kilometer (solid line) and the annual number of rabid foxes per 10 km² (dotted line). Solid arrows indicate gasification procedures; dotted arrows, incomplete operations.

WHO_1972：德國在1956~1969年以毒氣滅狐。圖中實線代表每年滅狐總數；點線代表狂犬狐狸數。實線箭頭代表實施毒氣滅狐；點線箭頭代表低度實施毒氣滅狐。結果顯示當滅狐計畫降低實施時，狂犬狐狸族群數會再度升高。

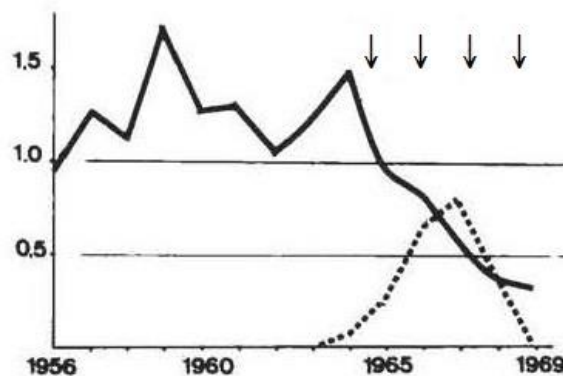


FIG. 15. Changes in fox population density and rabies incidence in the pre-Alpine region (8.744 km²) of Baden-Württemberg, West Germany. (From World Health Organization, 1972.) Legend as in Fig. 14.

在1956~1969時期，德國在狐狸巢穴廣泛施用毒氣以降低狐狸族群數。↓表示實施毒氣滅狐；實心曲線代表狐狸族群數；點狀曲線代表狂犬狐狸族群數。結果顯示當滅狐計畫停止後，狐狸之族群很快就恢復，且疫情也跟著升高。故知滅狐計畫無法防治疫情，是錯誤之政策。

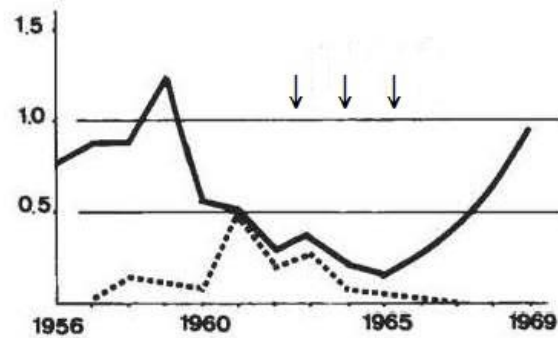


FIG. 16. Changes in fox population density and rabies incidence in the northern part (3,168 km²) of Baden-Württemberg, West Germany. (From World Health Organization, 1972.) Legend as in Fig. 14.

在1956~1969時期，德國在狐狸巢穴廣泛施用毒氣糞以降低狐狸族群數。↓表示實施毒氣滅狐；實心曲線代表狐狸族群數；點狀曲線代表狂犬狐狸族群數。結果顯示當滅狐計畫停止後，狐狸之族群很快就恢復，且疫情也跟著升高。故知滅狐計畫無法防治疫情，是錯誤之政策。

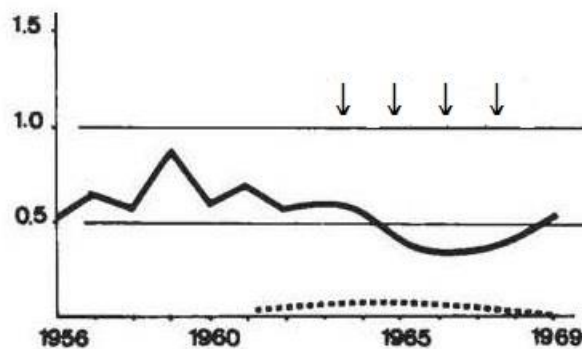


FIG. 17. Changes in fox population density and rabies incidence in the Black Forest (8,065 km²), West Germany. (From World Health Organization, 1972.) Legend as in Fig. 14.

在1956~1969時期，德國在狐狸巢穴廣泛施用毒氣糞以降低狐狸族群數。↓表示實施毒氣滅狐；實心曲線代表狐狸族群數；點狀曲線代表狂犬狐狸族群數。結果顯示當滅狐計畫停止後，狐狸之族群很快就恢復，且疫情也跟著升高。故知滅狐計畫無法防治疫情，是錯誤之政策。

B. 空間對疫情之影響(Development in Space)

在一個固定之地區，狂犬病之疫情發展決定於狐狸之生物學。此外，狂犬病散佈之進展頻率(rate of progression)，與：(1)疫情前鋒(front)之波形，與(2)狐狸之定棲性(sedentary nature)息息相關。無論是疫情往前發展，還是波鋒之不連續性，都與：(1)年青公狐擴展自己之領域以及(2)求偶，息息相關。

會影響狐狸前進之障礙有：輸水管、河流、溪等。在歐洲，主要之大河包括：the Oder river (德國)、the Rhine river (萊茵河)、the Moselle River (法國)、the Meuse river (法國)、the Yonne river (法國)等，都可阻擋狂犬病疫情，但都只是暫時性(萊茵河除外)，數個月之後都被疫情越過。

如果河流之方向與疫情之散佈方向垂直，會有暫時阻擋之作用；但若河流與疫情方向平行，卻有加速疫情前進之效果。可能之原因為：河流兩側有較多之齧齒類，會吸引狐狸往前覓食，故可加速疫情之進展。

V. 預估流行病學(Prospective Epidemiology)

A. Moegle 與相關之研究(Studies of Moegle and associates)

Moegle 等(1974)根據 1963~1971 年間共 2,822 筆之狂犬狐狸之座標紀錄，繪出一年 12 個月每月之疫情前進距離，以及每個月之病歷數佔全年病例數之百分比。根據這些原則，可以對照求證疫情擴算速度與狐狸遷徙、求偶等之生物學之關係，也可以了解狐狸之族群數之密度與疫情擴散之關係，如圖 18、19 所示。

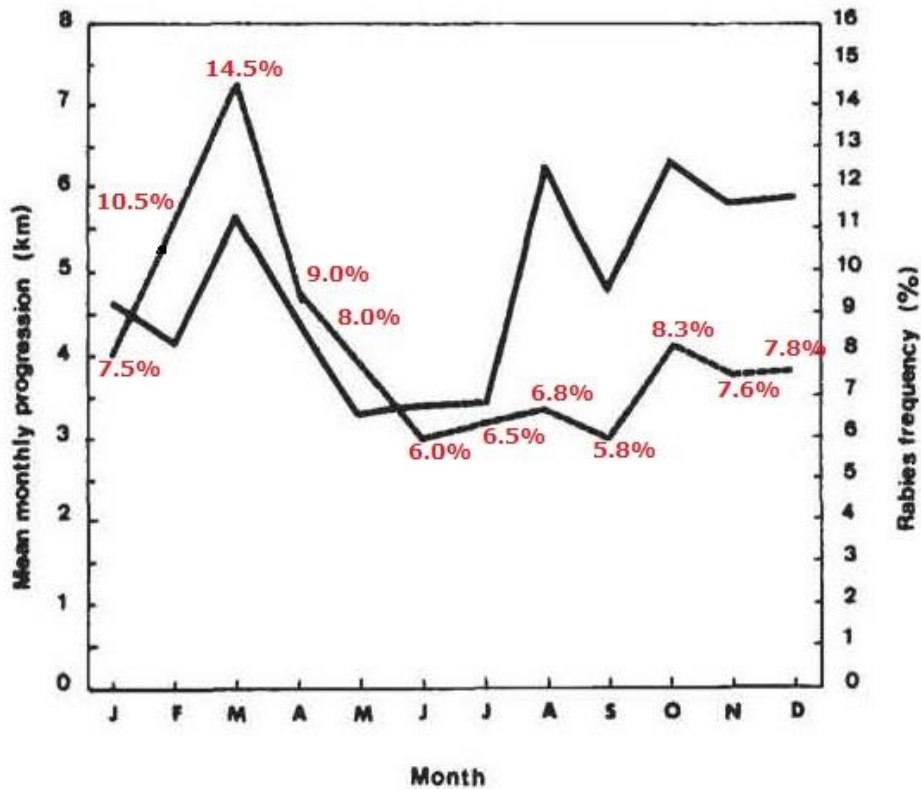


FIG. 18. Comparison between the monthly incidence of rabies (*dashed line*, percentage of cases observed each month) and the rate of progression (*solid line*, average monthly distance of new cases in relation to the front of the enzootic) in the course of the year; cumulative data for 2822 cases recorded from 1963 to 1971. (From Moegle *et al.*, 1974.)

從1963~1971共2,822個狂犬狐狸之病例分析。點線(dashed line)表示這2,822病例每月病例數之分布比例；實線(solid line)是疫情前進之比例(rate of progression)：1963~1971年每個月新的病例的座標與前一個月之前鋒之距離之平均數。實線指出每年之一月至三月疫情有快速擴散之現象，五月至七月疫情沒有太多之前進(progression)，但八月至十二月又有一個疫情快速擴散期。

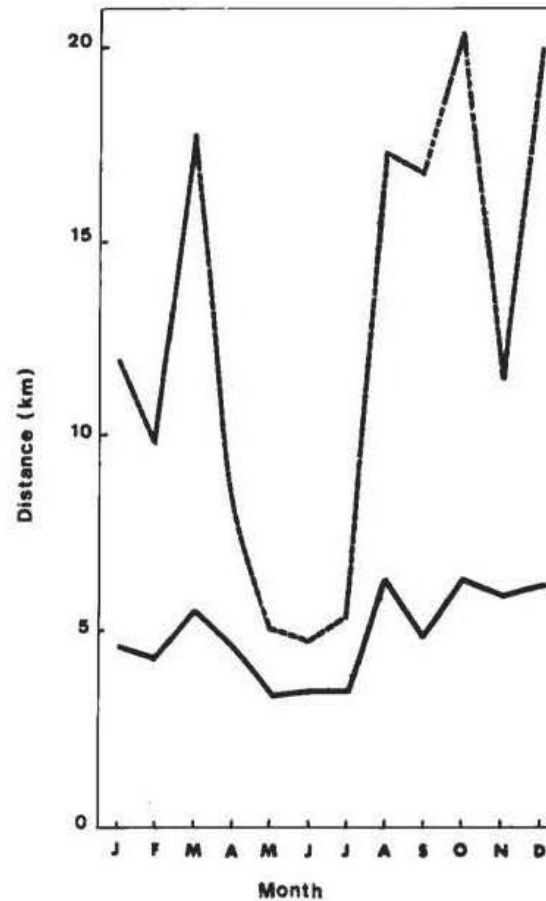


FIG. 19. Average monthly distance of advance of the rabies enzootic (*solid line*) and maximal distances of new cases of rabies in relation to the front of the preceding month (*dashed line*). (From Moegle *et al.*, 1974.)

實線(solid line)是1963~1971年平均每個月疫情之前進距離。點線(dashed line)是每個月比前一個月前鋒值最大之前進距離。

B. Bogel 與相關之研究(Studies of Bogel and associates)

(略)

C. 電腦模式(Computer models)

(略)

VI. 狐狸狂犬病之預防(Prophylaxis against fox rabies)

家畜之狂犬病防疫與野生動物之狂犬病防疫策略必須區分清楚。

A. 家畜狂犬病防治(Rabies in domestic animals)

1. 預防方法(Preventive measures)

預防方法包括：在疫區，要徹底避免家畜與野生動物之接觸。寵物狗一定要繫頸鍊，控制牠們的行動。但這種規定不包括草食獸、獵犬、牧羊犬等。

2. 實施方法(Medical measures)

盡量製備多價疫苗(八合一、十合一等)較能提高效率。

B. 野生動物狂犬病防治(Rabies in wild animals)

1. 預防方法(Preventive measures)

滅狐運動無效。因為狐狸生存處多樣化，無法通通找到予以殺滅，故當有少數狐狸不死，狂犬病疫情就會復發。

2. 實施方法(Medical measures)

已經發現要免疫 75%~80%之族群數才可看到效果。

From: Chap 10. Rabies in France, the Netherlands, Belgium, Luxembourg, and Switzerland.

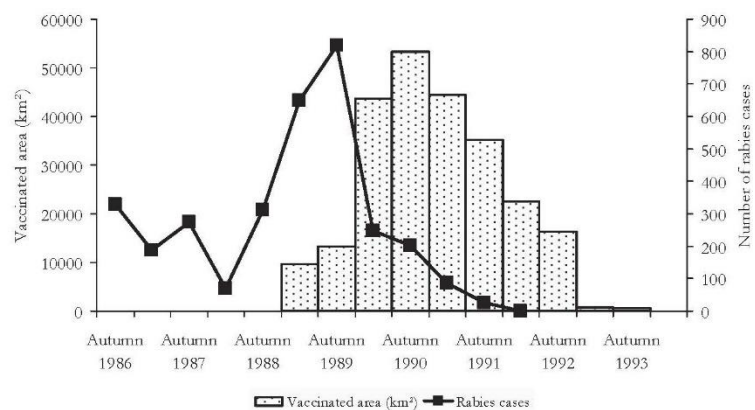


Figure 10.2
Decline in number of
rabies cases following oral vaccination

本圖指出當大幅實施疫苗注射之後，疫情會迅速降低甚至消失。