

# บทที่ 1

## บทนำ

### เค้าโครงเรื่อง

- 1.1 ลักษณะของสิ่งมีชีวิต
- 1.2 ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต
- 1.3 ชีววิทยา : วิทยาศาสตร์ของสิ่งมีชีวิต
  - 1.3.1 หลักและวิธีการทางวิทยาศาสตร์
  - 1.3.2 วิทยาศาสตร์ที่แท้จริง

การสังเกตสิ่งแวดล้อมรอบตัวของมนุษย์และสัตว์ถือเป็นสัญชาตญาณอย่างหนึ่งที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เพื่อตอบสนองความอยากรู้อยากเห็น ซึ่งเป็นพฤติกรรมเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นตามอายุและชนิด (species) ตามสายวิวัฒนาการ (evolution) ลูกสัตว์ประเภทล่าเหยื่อพวก เสือ สุนัข และแมว มักออกจากรังเมื่อตาและหูเปิดเพื่อสำรวจสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง และวิ่งเล่นไล่กันเป็นการเพิ่มทักษะของการล่าเหยื่อ เด็กเมื่อเริ่มมองเห็นและพูดได้จะสังเกต และหยิบจับสิ่งของที่อยู่รอบตัว ถือเป็นการเรียนรู้และรักธรรมชาติที่เกิดขึ้นเองและหยั่งลึกลงในจิตใจของมนุษย์ เด็กปกติจะชอบสัตว์เลี้ยง ชอบดอกไม้ ต้นไม้ ชอบให้พาไปเที่ยวชมสถานที่ธรรมชาติต่าง ๆ และตั้งคำถามถึงความเป็นมาของสิ่งมีชีวิต (organism) เหล่านั้นจากผู้เลี้ยง หรือผู้ใกล้ชิดว่า พืชและสัตว์ ตลอดจนสิ่งต่าง ๆ ที่ได้พบเห็นคืออะไร เกิดขึ้นได้อย่างไร ทำไมจึงมีความหลากหลาย (diversity) เมื่อเด็กเจริญวัยขึ้นสู่วัยเรียนและวัยเจริญพันธุ์ ความอยากรู้อยากเห็นที่มีอยู่ในจิตใจ ก่อให้เกิดการสำรวจ การแสวงหา เมื่อพบสิ่งที่อยากรู้อยากเห็นก็มีการบันทึกไว้ มีความพยายามที่จะหาระเบียบวิธีใหม่ ๆ เพื่อให้พบสิ่งใหม่เพิ่มขึ้น หรือเพื่อคลี่คลายปัญหาต่าง ๆ ที่เป็นคำถามอยู่ในใจ กลไกตามธรรมชาติเหล่านี้เป็นที่มาของการศึกษาค้นคว้าทางชีววิทยาและวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ตลอดจนศาสตร์อื่น ๆ ด้วย

## 1.1 ลักษณะของสิ่งมีชีวิต

เนื่องจากสิ่งมีชีวิตมีความหลากหลายทั้งขนาด รูปร่าง ตลอดจนสรีรวิทยา จึงเป็นเรื่องยากที่จะให้คำจำกัดความลักษณะของสิ่งมีชีวิต การศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งมีชีวิตจึงขึ้นอยู่กับมุมมองตามประเด็นหลักที่ว่าสิ่งมีชีวิต โดยทั่วไปมีลักษณะและคุณสมบัติร่วมกันคือ

(1) สิ่งมีชีวิตมีกระบวนการถ่ายทอดพลังงาน โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในรูปของพลังงานการแผ่รังสี พลังงานจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานพันธะเคมี อยู่ในรูปของ ATP (adenosine triphosphate) ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่มีคุณสมบัติสังเคราะห์แสงได้มีตั้งแต่จุลชีพ คือ ไซแอนโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) และสาหร่าย (algae) ขึ้นมาจนถึงพืชชั้นต่ำและพืชชั้นสูง พลังงานทำให้เกิดกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ของสิ่งมีชีวิต มีการสะสมพลังงานในรูปของสารอาหารแล้วสามารถถ่ายทอดต่อไปยังสิ่งมีชีวิตอื่นที่ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ เช่น สัตว์ นิ่งใจ โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหารและสายใยอาหาร (food chain and food web) กระบวนการเหล่านี้ได้เกิดต่อเนื่องขึ้นในสิ่งมีชีวิตมาพร้อมกับวิวัฒนาการเกินกว่า 4 พันล้านปี

(2) สิ่งมีชีวิตเป็นผลเนื่องมาจากวิวัฒนาการ จากหลักฐานทางธรณีวิทยา โลกซึ่งเป็นดาวเคราะห์ดวงหนึ่งของสุริยจักรวาล ได้เกิดขึ้นมาประมาณ 4.7 พันล้านปี และมีการเปลี่ยนแปลงจนเกิดน้ำและอากาศหุ้มผิวโลก กลไกตามธรรมชาติช่วยให้ น้ำ มีเทน ไฮโดรเจน และออกซิเจน รวมกันเป็นกรดอะมิโน ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของ โปรตีน และยังมี การทำให้เกิดกรดนิวคลีอิก โดยเฉพาะ DNA (deoxyribonucleic acid) ซึ่งเป็นหน่วยพันธุกรรม (heredity) และควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต การเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยามีบทบาทสำคัญต่อการปรับเปลี่ยนโมเลกุลอย่างง่ายให้ซับซ้อนยิ่งขึ้น และทำให้สิ่งมีชีวิตแรกเริ่มมีการปรับเปลี่ยนระบบเพื่อให้มีชีวิตรอด สามารถสืบทอดสายพันธุ์เดิม หรือมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่

(3) สิ่งมีชีวิตมีการจัดระบบความสัมพันธ์ของ โครงสร้างและสรีรวิทยา อยู่ภายในตัวเองในทุกระดับ ตั้งแต่หน่วยย่อยสุด คือ ระดับเซลล์ขึ้นมาสู่ระดับเนื้อเยื่อ อวัยวะ ระบบ และตัว สิ่งมีชีวิตที่เป็นไวรอยด์ (viroid) หรือไวรัส (virus) ก็สามารถจัดระบบความสัมพันธ์อยู่ภายในหน่วยของตนเอง สิ่งมีชีวิตพวกโพรแคริโอต (prokaryote) ซึ่งได้แก่แบคทีเรีย และ

ไซแอนโแบคทีเรีย ก็สามารถจัดระบบการดำเนินชีวิตภายในเซลล์ของตนเอง พวกยูแคริโอต (eukaryote) ที่เป็นพวกสาหร่ายเซลล์เดียว หรือพวกโปรโตซัว (protozoa) ก็สามารถจัดระบบการดำรงชีวิตอยู่ภายในเซลล์ของตนเอง ได้เช่นกัน สิ่งมีชีวิตที่เป็นจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถมีกระบวนการเมแทบอลิซึม การสืบพันธุ์ และคุณลักษณะอื่น ได้เช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดใหญ่ และระบบโครงสร้างที่พัฒนาซับซ้อน เช่น พืชและสัตว์

(4) ลักษณะอื่นของสิ่งมีชีวิตที่บางชนิดอาจปรากฏให้เห็นชัด บางชนิดสังเกตได้ยาก ได้แก่ การตอบสนองต่อสิ่งเร้า (responsiveness) การเติบโต (growth) การเจริญ (development) การแก่และตาย (aging and death) การสืบพันธุ์ (reproduction) การถ่ายทอดทางพันธุกรรม การผันแปร (variation) และความสามารถในการดำรงชีวิต (self-maintenance) ซึ่งจะกล่าวถึงหัวข้อเหล่านี้ในบทต่าง ๆ ที่มีเนื้อหาสาระเกี่ยวข้อง

นับตั้งแต่วัตสันและคริก (James D. Watson and Francis H. Crick) ได้เสนอแบบจำลองโครงสร้างบิดเกลียวของ DNA (deoxyribonucleic acid) เมื่อต้นทศวรรษ 1950 เป็นต้นมา ทำให้นักวิทยาศาสตร์ค้นคว้าหาความรู้เกี่ยวกับบทบาทของ DNA ต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตมากขึ้น จนทำให้ทราบว่า DNA มีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการถอดรหัสพันธุกรรมควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ ตลอดจนก่อให้เกิดการกลาย (mutation) อันนำไปสู่กระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตจนเกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตดังปรากฏอยู่ในปัจจุบัน

## 1.2 ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต

จากการค้นพบทางธรณีวิทยา ทำให้ทราบว่า ไซแอนโแบคทีเรีย ซึ่งเป็น โพรแคริโอต ได้เกิดขึ้นในโลกมาตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียน (Precambrian era) เมื่อประมาณ 3.2 พันล้านปีมาแล้ว ปัจจุบัน สามารถพบไซแอนโแบคทีเรียได้ตามแหล่งน้ำที่มีสภาพแวดล้อมต่างกัน เช่น บริเวณน้ำพุร้อน บริเวณแอ่งน้ำใต้กองหิมะ นับเป็นความสามารถของไซแอนโแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตสืบทอดปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมต่อการมีชีวิตรอดในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป การค้นพบซากดึกดำบรรพ์ (fossil) ของพืชและสัตว์ ซึ่งส่วนใหญ่มีชีวิตอยู่ในคาบแคมเบรียน (Cambrian period) และจำแนกชนิดได้มากกว่า 130,000 ชนิด เป็นการชี้ให้เห็นถึงความ

หลากหลายและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นมานานกว่า 500 ล้านปี ปัจจุบันมีผู้จำแนกชนิดพืชไว้มากกว่า 260,000 ชนิด สัตว์มีกระดูกสันหลังมากกว่า 50,000 ชนิด และแมลงมากกว่า 750,000 ชนิด รวมทั้งจำแนกชนิดสิ่งมีชีวิตเพียงสองกลุ่มคือพืชและสัตว์มากกว่า 1.7 ล้านชนิด

จะเห็นได้ว่าจำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตที่ถูกจำแนกตามหลักอนุกรมวิธาน (taxonomy) ยังไม่ปรากฏตัวเลขที่แน่ชัด เนื่องจากการค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิตเป็นเรื่องยาก ส่วนใหญ่พบโดยบังเอิญเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินและหินซึ่งเกิดขึ้นน้อยในปัจจุบัน สิ่งมีชีวิตที่มีถิ่นที่อยู่อาศัยยากต่อการเข้าถึงของนักวิทยาศาสตร์ยังมีอีกมาก อย่างไรก็ตามภาพรวมที่เห็นได้ชัดคือโลกมีจำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตเหลือคณานับ ประมาณกันว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 5-30 ล้านชนิด เมื่อถือหลักจำนวนชนิดเป็นเครื่องบ่งชี้ความหลากหลาย จึงประมวลสรุปได้ว่าโลกมีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตสูง

ดังได้กล่าวไว้แต่ต้นว่า ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตเป็นผลเนื่องมาจากวิวัฒนาการซึ่งเกิดจากกลไกและปัจจัยหลัก 2 ประการคือ

(1) ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ สิ่งมีชีวิตทุกชนิดย่อมมีโครงสร้างที่ทำหน้าที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตเพื่อการมีชีวิตรอดอยู่ทั้งสิ้น เช่น โครงสร้างที่เรียกว่าปีกของนก และปีกของค้างคาว ถึงแม้จะมีต้นกำเนิดทาง กายวิภาค (anatomy) ต่างกัน แต่มีหน้าที่หลักคือใช้บินร่อนในอากาศ โครงสร้างที่เรียกว่าครีบของนกเพนกวิน ปลาวาฬ และปลา ซึ่งมีลักษณะทางกายวิภาคต่างกัน แต่ทำหน้าที่อย่างเดียวกัน คือพัดน้ำไปด้านหลังเพื่อประโยชน์สำหรับการว่ายน้ำได้คล่องแคล่ว

(2) อันตรกิริยาของสิ่งมีชีวิตต่อสภาพแวดล้อม สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อม (environment) อาจอยู่ในน้ำ (aquatic) บนบก (terrestrial) บนต้นไม้ (aboreal) หรือในอากาศ (aerial) สิ่งมีชีวิตชนิดใดจะเลือก ถิ่นที่อยู่อาศัย (habitat) แบบใด ย่อมขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาของสิ่งมีชีวิตต่อสภาพแวดล้อมของถิ่นที่อยู่อาศัยนั้น เช่น ผักตบชวาเหมาะกับถิ่นที่อยู่อาศัยที่เป็นแหล่งน้ำจืดเขตร้อนชื้น และน้ำมีแร่ธาตุและสารอินทรีย์มากจึงจะเจริญได้อย่างรวดเร็ว ถ้าน้ำกร่อย อุณหภูมิต่ำ หรือน้ำมีสารอินทรีย์น้อย อาจไม่เจริญหรือตายในที่สุด อันตรกิริยาของสิ่งมีชีวิตต่อสภาพแวดล้อมยังมีความหมายครอบคลุมถึงบทบาทของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศในแง่ของวัฏจักรสารอาหาร การถ่ายทอดพลังงาน การอยู่ร่วมกันกับสิ่งมี

ชีวิตอื่น ซึ่งจะกล่าวถึงในเรื่องของระบบนิเวศ

### 1.3 ชีววิทยา : วิทยาศาสตร์ของสิ่งมีชีวิต

ชีววิทยาเป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ (natural science) ซึ่งประกอบด้วยวิชาเคมี วิชาฟิสิกส์ และชีววิทยา สามสาขาด้วยกัน

การศึกษาวิชาชีววิทยาส່วนใหญ่มาจากการสังเกต บันทึก รวบรวมตัวอย่างนำมาศึกษา โดยมีพื้นฐานมาจากความอยากรู้อยากเห็นและความผูกพันกับธรรมชาติ ดังได้กล่าวแล้วเบื้องต้น แต่ยังไม่เป็นการเพียงพอที่จะไขข้อข้องใจที่มีอยู่มากว่า เหตุใดสิ่งมีชีวิตจึงเกิดขึ้นและมีความหลากหลาย จึงจำเป็นต้องนำความรู้ทางวิชาเคมีและฟิสิกส์มาประยุกต์เพื่อใช้อธิบายให้เกิดความเข้าใจได้ดีขึ้น นับเป็นที่มาของศาสตร์อื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ชีวฟิสิกส์ (biophysics) ชีวเคมี (biochemistry) เพื่อให้เป็นที่เข้าใจวิธีการศึกษาชีววิทยาว่าเป็นวิทยาศาสตร์ของสิ่งมีชีวิต จึงควรทราบหลักการ วิธีการ และความหมายของคำว่าวิทยาศาสตร์ไว้พอเป็นสังเขป

1.3.1 **หลักและวิธีการทางวิทยาศาสตร์** วิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ธรรมชาติ ซึ่งมีเหตุผลอยู่ในตัวเอง โดยมีหลักการที่ว่าปรากฏการณ์นั้นย่อมหาข้อพิสูจน์เพื่อเป็นที่ประจักษ์ชัดว่าเป็นความจริง โดยวิธีการทางวิทยาศาสตร์

วิธีการทางวิทยาศาสตร์มีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนคือ

(1) **การสังเกต (observation)** หมายถึงการสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติในทุกประสาทการรับรู้ทั้ง 5 ของมนุษย์ คือ ผ่านทางตาด้วยการมองเห็น ผ่านทางลิ้นด้วยการลิ้มรส ผ่านทางหูด้วยการรับฟัง ผ่านทางจมูกด้วยการดมกลิ่น และผ่านทางมือและเท้าและสิ่งท่อนุ้มกายภายนอกด้วยการสัมผัส พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้สังเกตไว้ ในทางชีววิทยารวมถึงการเก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ด้วย

(2) **การตั้งสมมติฐาน (hypothesis)** หรือทฤษฎี เพื่อให้เกิดแนวทางนำไปสู่คำตอบสำหรับปัญหาหรือข้อสงสัยที่มีอยู่ โดยวางแนวความคิดถึงความน่าจะเป็นไว้ อาจตั้งหลายสมมติฐานหรือทฤษฎีก็ได้

(3) **การทดลอง (experiment)** เพื่อพิสูจน์ว่า สมมติฐานหรือทฤษฎีต่าง ๆ ที่ตั้งไว่นั้น ข้อใดถูกต้องเป็นจริงหรือน่าเชื่อถือมากที่สุด

ในทางปฏิบัติ และสภาพความเป็นจริง มนุษย์เรียนรู้หลักการและวิธีการทางวิทยาศาสตร์โดยไม่จำเป็นต้องเรียนวิทยาศาสตร์ เพราะมนุษย์มีสัญชาตญาณการเรียนรู้ลองผิดลองถูก (try and error) เช่น ชาวสวนที่ปลูกไม้ยืนต้นไว้บนคันร่อง นิยมโกยเลนขึ้นมาบนร่องทุกปี เพราะสังเกตว่าการทำเช่นนั้นจะทำให้ต้นไม้เจริญดี ให้ผลผลิตสม่ำเสมอ ต่างจากการไม่โกยเลน ซึ่งจะทำให้ผลผลิตต่ำ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ (1) คือ การสังเกต ชาวสวนคิดว่าดินเลนน่าจะมีค่าสำคัญในแง่ของการมีสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ (2) คือ ตั้งสมมติฐาน ดังนั้น ชาวสวนจึง โกยเลนขึ้นบนร่องสวน ซึ่งเข้าสู่ขั้นตอนที่ (3) คือ การทดลอง ถ้าปีใดไม่โกยเลน ผลผลิตตกต่ำ ถ้าปีใดโกยเลนขึ้นถึงสองครั้ง จะให้ผลผลิตสูงขึ้น ความรู้ที่ได้นี้ถูกถ่ายทอดต่อไปยังชาวสวนคนอื่น และถึงชั่วรุ่นอื่น ซึ่งก็ได้ทดลองปฏิบัติและได้ผลดีเช่นเดียวกัน จึงเป็นข้อพิสูจน์ที่มีสถิติยืนยันได้ ตามหลักการและวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งทั้งมนุษย์และสัตว์มีพฤติกรรมตามธรรมชาติที่เป็นวิทยาศาสตร์อยู่ตลอดเวลา สอดคล้องกับลักษณะสำคัญประการหนึ่งในหลายประการของสิ่งมีชีวิต

สำหรับวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ถือปฏิบัติโดยนักวิทยาศาสตร์ มีรายละเอียดมากกว่าตัวอย่างข้างต้น กล่าวคือ ต้องมีการทดลองซ้ำหลายครั้ง โดยมีการทดลองตั้งค่าควบคุมแล้วเปรียบเทียบผลการทดลองแต่ละครั้งกับการทดลองค่าควบคุม ตามหลักสถิติ แล้วจึงจะสรุปได้ว่า ผลการทดลองมีนัยสำคัญ (เป็นจริง) หรือไม่

**1.3.2 วิทยาศาสตร์ที่แท้จริง** สำหรับบุคคลทั่วไปมักมีมุมมองทางวิทยาศาสตร์ว่าเป็นสิ่งที่ตรงไปตรงมา เมื่อมีปัญหาแล้วหาข้อพิสูจน์ได้ก็แสดงว่าเป็นจริง แล้วยุติในความเป็นจริง นักวิทยาศาสตร์เป็นมนุษย์ปุถุชน ย่อมมีข้อผิดพลาดและมุมมองที่แคบ เนื่องจากข้อมูลในขณะนั้นไม่เพียงพอ เช่น ทฤษฎีของ ลามาร์ค (Lamarck) ที่เกี่ยวข้องกับวิวัฒนาการ ซึ่งกล่าวว่า สิ่งมีชีวิตใดใช้อวัยวะใดมาก อวัยวะนั้นก็จะพัฒนามาก ซึ่งไม่ถูกต้องนัก ยังมีปัจจัยอื่นประกอบด้วย แต่ในยุคนั้น ความรู้ทางด้านพันธุกรรมและชีวโมเลกุลยังไม่พัฒนา จึงก่อให้เกิดการหลงผิดขึ้นได้

การค้นพบสิ่งใหม่ ๆ บางครั้งมิได้เกิดขึ้นเนื่องจากการทดลองเพื่อหาข้อพิสูจน์บ่อยครั้งที่เกิดเนื่องจากความเพ้อฝันและความบังเอิญ เช่นกรณีการพบโครงสร้างของ DNA โดยวัตสันและคริก (ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่เกี่ยวข้อง) และการค้นพบสารปฏิชีวนะ (แอสติไบออกติก) โดยเซอร์อเล็กซานเดอร์ เฟลมมิง (Sir Alexander Fleming) ในทศวรรษที่ 1920

เฟลมมิง สังเกตว่า จานเพาะเลี้ยงแบคทีเรียของเขามีการปนเปื้อนด้วยเชื้อราสกุล *Penicillium* และไม่มีแบคทีเรียเจริญอยู่รอบบริเวณที่มีเชื้อราเลย เขาตั้งสมมติฐานว่า เชื้อราน่าจะผลิตสารต้านการเจริญของแบคทีเรีย เขาจึงทำการทดลองโดยเพาะเลี้ยงเชื้อราในสารเพาะเลี้ยงที่เป็นของเหลว กรอง *Penicillium* ออกแล้วจึงนำของเหลวที่กรองได้ไปใส่ในจานเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย ผลปรากฏว่า แบคทีเรียตายหมด เขาทำการทดลองซ้ำหลายครั้งก็ได้ผลเช่นเดียวกัน การทดลองของเฟลมมิงถือเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์แบบและเป็นที่มาของการผลิตสารปฏิชีวนะ คือ penicillin ที่ใช้กันแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน

จากตัวอย่างการค้นพบปฏิชีวนะโดยบังเอิญของเฟลมมิง ชี้ให้เห็นว่า ถ้าเฟลมมิงมิใช่คนที่ละเอียดรอบคอบและเป็นนักคิด เขาคงทิ้งจานเพาะเลี้ยงแบคทีเรียที่ปนเปื้อนเชื้อราไปเพราะเดิม เขามิได้มีเจตนาจะหาสารต้านแบคทีเรีย เขาทำการทดลองเพื่อให้ได้แบคทีเรียลักษณะของวิทยาศาสตร์ที่แท้จริงนั้นจึงต้องประกอบด้วยปัจจัยอื่นมากกว่าวิธีการทางวิทยาศาสตร์ นั่นคือความเป็นนักคิด ความละเอียดรอบคอบ มีมุมมองที่กว้างไกล และต้องทำการทดลองติดตามผลต่อเนื่องจนสามารถจัดสิ่งที่พิสูจน์ไม่ได้ที่อาจแฝงอยู่ให้หมดไป

วิทยาศาสตร์มีข้อจำกัดในแง่ที่ว่า สามารถอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่สามารถทำการทดลองพิสูจน์ได้ แต่ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์เหนือธรรมชาติหรือความนึกคิด อุดมการณ์ต่าง ๆ ของมนุษย์ นักวิทยาศาสตร์อยู่ในสังคมของผู้ที่มีความหลากหลายทางแนวความคิด และย่อมมีปัญหาต่าง ๆ ที่มีใช้วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ ผ่านเข้ามาให้แก่ไข้อยู่เสมอ การทดลองทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันจึงอยู่ในรูปของวิทยาศาสตร์ประยุกต์ เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้นำไปใช้ประโยชน์ในการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า เช่น การศึกษาค้นคว้าหาวัคซีนและยา เพื่อป้องกันและรักษาโรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง ซึ่งนักวิทยาศาสตร์การแพทย์ทั่วโลกกำลังทำอยู่ มากกว่าการศึกษาชนิดของไวรัสเอชไอวี