

บทที่ 2

บททวนเอกสาร

1. นิเวศวิทยาของไลเคน

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัย (Mutualism) ระหว่างรา (mycobiont) และสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชนิด (Photosynthetic symbiont or photobiont) ในโครงสร้างเฉพาะที่เรียกว่า ทัลลัส (thallus) โดยราทำหน้าที่ช่วยปกป้อง สาหร่ายจากความแห้งแล้งส่วนสาหร่ายทำหน้าที่สังเคราะห์แสงสร้างอาหาร ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์ด้วยแสงอาจจะเป็นสาหร่ายสีเขียวหรือไซยาโนแบคทีเรีย โดยในไลเคนส่วนใหญ่จะพบ สาหร่ายสีเขียว มีไลเคนส่วนน้อยที่พบไซยาโนแบคทีเรีย (วนารักษ์ และคณะ, 2550; Gilbert, 2000; Nash III, 1996)

ไลเคนเกิดขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะกับการเติบโตของราและสาหร่าย ทำให้สิ่งมีชีวิตทั้งสองต้องมาสัมพันธ์กันเพื่อความอยู่รอด ราในไลเคนไม่สามารถอยู่ได้อย่างอิสระในธรรมชาติ โดยจะอยู่ร่วมกับสาหร่ายในไลเคนเท่านั้น แต่สาหร่ายส่วนมากอยู่ได้อย่างอิสระ ยกเว้นสาหร่ายสกุล *Trebouxia* ที่พบเฉพาะในไลเคนเท่านั้น ราที่เป็นองค์ประกอบของไลเคน จัดอยู่ในกลุ่ม Ascomycetes ประมาณ 98 % และอยู่ในกลุ่ม Basidiomycetes และ Deuteromycotina เพียงเล็กน้อย (กัณฐริย์ และกวินนาถ, 2550) ซึ่งสามารถทำการเพาะเลี้ยงราในไลเคนในห้องปฏิบัติการได้ แต่มีอัตราการเติบโตที่ช้า มีการสร้างโครงสร้างเพียงเล็กน้อย และไม่สร้าง fruiting body หรือไม่สร้างเป็นไลเคนขึ้นมา (Gilbert, 2000)

ส่วน Photosynthetic symbiont ที่เป็นองค์ประกอบของไลเคนนั้น ส่วนมากจะเป็นสาหร่ายสีเขียว ได้แก่ สกุล *Coccomyxa*, *Pseudotrebouxia*, *Stichococcus*, *Trebouxia* และ *Trentepohlia* แต่ก็มีไลเคนในบางสกุลที่พบไซยาโนแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ไซยาโนแบคทีเรียในสกุล *Calothrix*, *Gloeocapsa*, *Nostoc* และ *Scytonema* (Gilbert, 2000) มีไลเคนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ประกอบด้วยทั้งสาหร่ายสีเขียวและไซยาโนแบคทีเรีย เรียกโครงสร้างที่มีไซยาโนแบคทีเรียว่า เซฟาโลเดีย (cephalodia) (Hawkworth and Rose, 1976)

ไลเคนเป็นส่วนหนึ่งของผู้ผลิตในโลก มีสีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสีส้ม เหลือง แดง เขียว เทา และดำ มีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 1 มิลลิเมตร จนถึงยาวมากกว่า 2 เมตร ไลเคนมีการกระจายตัวกว้างจะพบได้ในระบบนิเวศบก โดยปกคลุมพื้นผิวของโลกประมาณ 8 % (Purvis *et al.*, 2007) ตั้งแต่

เขตร้อนถึงเขตขั้วโลก โดยเกาะอาศัยบนต้นไม้หรือพืชอื่น เจริญได้บนดินและก้อนหิน ไลเคนบางชนิดในเขตร้อนและเขตกึ่งเขตร้อนสามารถเติบโตอย่างรวดเร็วบนผิวของใบไม้ ไลเคนส่วนมากจะเกิดขึ้นบนบก มีเพียงเล็กน้อยที่เกิดบริเวณแหล่งน้ำจืดและเกิดในบริเวณเขตน้ำขึ้นน้ำลงตามชายฝั่งทะเล (Nash III, 1996) ไลเคนในโลกนี้มีประมาณ 25,000 ชนิด ประเทศไทยมีรายงานการพบแล้ว 1,100 ชนิด ซึ่งความหลากหลายชนิดของไลเคนเกิดจากราเป็นสำคัญ (กัณทรีย์ และกวินนาถ, 2550)

1.1 รูปแบบการเติบโตของไลเคน (growth form)

ไลเคนสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ (วนารักษ์, 2551; Gilbert, 2000; Budel and Scheidegger, 1996)

1. ไลเคนพวกผื่นผงหรือครัสโตส (crustose) มีลักษณะเป็นแผ่นแนบติดเป็นเนื้อเดียวกับวัตถุที่ไลเคนเกาะอยู่ ไม่สามารถแกะออกจากวัตถุที่ไลเคนเกาะอยู่ได้ (ภาพ 2.1)
2. ไลเคนพวกแผ่นใบหรือโฟลิโอส (foliose) มีลักษณะคล้ายใบไม้ สามารถแกะไลเคนออกจากวัตถุที่เกาะอยู่ได้ บางชนิดมีโครงสร้างที่เรียกว่าไรซีน (rhizine) ทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัตถุต่างๆ (ภาพ 2.2)
3. ไลเคนพวกเส้นสายหรือฟรุติโคส (fruticose) มีลักษณะคล้ายหนวดเครา หรือเป็นพุ่มเล็กๆ ห้อยลงมาจากวัตถุที่ยึดเกาะ มักพบในบริเวณที่มีความชื้นสูง (ภาพ 2.3)



ภาพ 2.1 ไลเคนกลุ่มครัสโตส



ภาพ 2.2 ไลเคนกลุ่มโฟลิโอส



ภาพ 2.3 ไลเคนกลุ่มฟรุติโคส

1.2 โครงสร้างภายในทลัสซของไลเคน

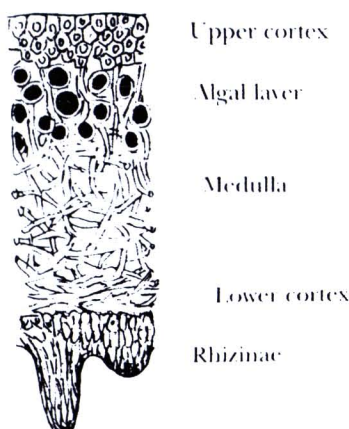
ทลัสซไลเคนแบ่งเป็นชั้นชัดเจนเมื่อตัดตามขวาง สามารถแบ่งลำดับชั้นจากบนไปล่างดังนี้ (กัณทรีย์ และกวินนาถ, 2550; วนารักษ์, 2551; Gilbert, 2000) (ภาพ 2.4)

1. upper cortex เป็นชั้นที่มีเส้นใยสาขากันอยู่หนาแน่น ทำหน้าที่ป้องกันไลเคน บางครั้งอาจมีรูเพื่อใช้แลกเปลี่ยนก๊าซได้ง่ายขึ้น
2. algal layer ชั้นนี้มีเซลล์ของสาหร่ายอยู่ปะปนกับเส้นใยของราซึ่งพันกันอยู่ โดยตั้งอยู่

ในบริเวณที่สามารถรับแสงได้เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์แสง ชั้นนี้มีปริมาณน้อยกว่า 10 % ของทลัส

3. medulla เป็นชั้นที่เส้นใยสาขากันอยู่อย่างหลวมๆ เป็นแหล่งสำหรับเก็บสะสมน้ำและคาร์โบไฮเดรตที่สร้างจาก photobionts โดยไซยาโนแบคทีเรียจะสร้าง soluble glucose และสาหร่ายสีเขียวจะสร้าง polyols และเก็บ sugar alcohols ซึ่งช่วยป้องกันไลเคนไม่ให้เป็นน้ำแข็ง (antifreeze) ในสภาพอากาศหนาวเย็น และมีการสะสมสารประกอบทุติยภูมิ (secondary metabolites) ของไลเคน ทำให้มีสีต่างๆ แต่ส่วนมากพบสีขาว สีเหลือง หรือสีส้ม สำหรับไลเคนกลุ่มครัสโตสชั้นนี้จะแนบติดกับพื้นผิวที่ยึดเกาะ

4. lower cortex เป็นชั้นที่มีเส้นใยสาขากันอยู่อย่างหนาแน่น ในไลเคนบางชนิดชั้นนี้เป็นชั้นที่เกิดโครงสร้างคล้ายรากที่เรียกว่า ไรซีน (rhizine) เพื่อยึดเกาะกับวัตถุ



ภาพ 2.4 ภาพตัดขวางทลัสไลเคน (Gilbert, 2000)

1.3 การสืบพันธุ์ของไลเคน

ไลเคนสามารถสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบไม่อาศัยเพศ และแบบอาศัยเพศ ดังนี้

1.3.1 การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction)

ไลเคนจะสร้างโครงสร้างที่มีทั้งราและสาหร่ายอยู่ด้วยกัน เมื่อโครงสร้างนี้หลุดออกจากไลเคนต้นแม่ และตกลงบนบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญ ก็จะงอกเป็นทลัสใหม่ต่อไป โครงสร้างในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ มี 2 ลักษณะ (วนารักษ์, 2551; Gilbert, 2000; Purvis, 2000) ได้แก่

1. isidia เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแท่งเล็กๆ คล้ายนิ้วมืออยู่บนผิวทลัส ไอซิเดียอาจมีรูปร่างหลายแบบ เช่น แบบแท่ง ไม้กระบอง ชีการ์ บางชนิดแตกกิ่งก้านคล้ายปะการัง

เป็นสะเก็ดหรือเป็นก้อนเล็กๆ ซึ่งสามารถหักได้ง่ายเมื่อมีลมแรง น้ำฝน หรือมีแมลงมาสัมผัส (ภาพ 2.5 ก-ข)

2. *soredia* เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเม็ดผงคล้ายผงแป้งอยู่บนผิวหรือขอบของทัลลัส ซึ่งจะมีความทนทาน ซอริเดียเกิดจากชั้นสาหร่ายของทัลลัสซึ่งเปิดออกโดยการแตกหรือฉีกขาดของชั้น upper cortex ส่วนใหญ่โครงสร้างนี้จะกระจายไปโดยหยดน้ำฝนหรือโดยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง หรือโดยลม (ภาพ 2.6 ก-ข)

1.3.2 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction)

เป็นการสืบพันธุ์ในส่วนของราที่อยู่ในไลเคน ราจะสร้างสปอร์ขึ้นมาซึ่งมีรูปร่างแตกต่างกันไป สปอร์จะอยู่ในโครงสร้างที่เรียกว่า “ผล” (fruiting body / *ascomata*) ซึ่งจะมีรูปร่างและสีที่แตกต่างกันไปตามชนิดของไลเคน เมื่อสปอร์ที่อยู่ในผลแก่จัดจะฉีดตัวออกจากไลเคนต้นแม่ ผลจะปล่อยสปอร์ออกมาได้ตลอดเวลา โดยปล่อยดีที่สุดที่สุดในฤดูหนาว ฤดูฝนและฤดูแล้ง ตามลำดับ แต่ระยะทางไปได้เพียงไม่กี่มิลลิเมตรเท่านั้น และจะต้องเข้ากับสาหร่ายที่เหมาะสมเพื่อเจริญเป็นไลเคนทัลลัสใหม่ ไลเคนส่วนใหญ่จะสร้างผลเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและมีมลภาวะต่ำ โครงสร้างของผลจะขึ้นอยู่กับหมวดหมู่ของราใน order ต่างๆ โดยทั่วไป มี 2 รูปแบบ คือ (กัณทริย์ และกวินนาถ, 2550; Gilbert, 2000)

1.3.2.1 *apothecia* มี 2 รูปแบบ คือ

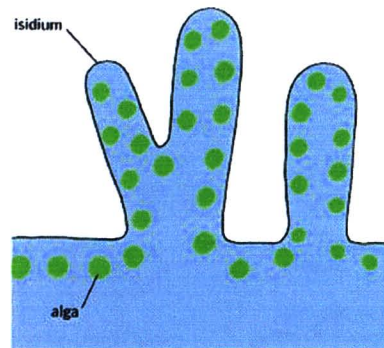
1.1 *disc-like apothecia* (ภาพ 2.7 ก-ค) มีลักษณะคล้ายจานหรือถ้วย แยกออกได้ 2 แบบ คือ คล้ายจานมีขอบ โดยมีสาหร่ายขยายขึ้นมาหุ้มเป็นขอบ (*lecanorine*) และคล้ายจานไม่มีขอบซึ่งไม่มีสาหร่ายที่ขอบจาน (*lecideine*)

1.2 *lirellate apothecia* (ภาพ 2.8) มีลักษณะเป็นเส้นคู่ขนานประกบกัน คล้ายริมฝีปากมีการเรียงตัวกันหลายแบบ เช่น คล้ายอักษรจีนโบราณ คล้ายรูปดาว

1.3.2.2 *perithecia* (ภาพ 2.9 ก-ข) ลักษณะภายนอกคล้ายเม็ดตุ่มขนาดเล็ก มีหลายสี ฝังตัวหรือโผล่เหนือทัลลัส โดยอยู่แบบเดี่ยวหรือแบบกลุ่ม ลักษณะภายในคล้ายรูปคนโท มีช่องเปิดที่ส่วนปลาย (*ostiole*) สำหรับปล่อยสปอร์ ไลเคนพวกนี้เรียกว่า *pyrenocarps*



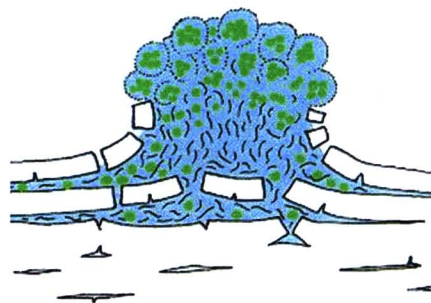
ภาพ 2.5-ก โครงสร้างภายนอก isidia



ภาพ 2.5-ข โครงสร้างภายใน isidia (Purvis, 2000)



ภาพ 2.6-ก โครงสร้างภายนอก soredia



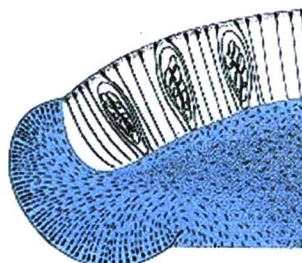
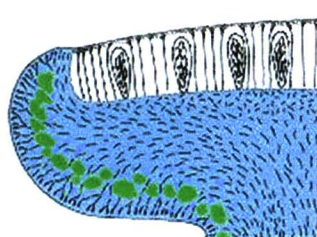
ภาพ 2.6-ข โครงสร้างภายใน soredia (Purvis, 2000)



ภาพ 2.7-ก ผลแบบ lecanorine



ภาพ 2.7-ข ผลแบบ lecideine



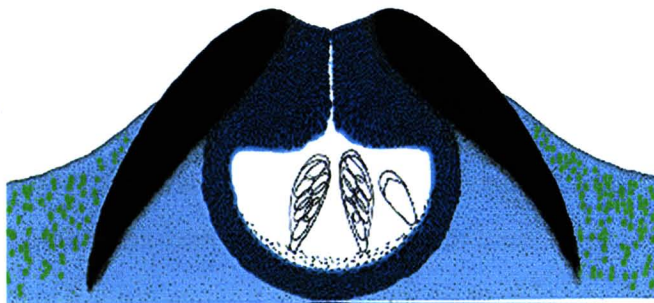
ภาพ 2.7-ค โครงสร้างภายในของผลแบบ lecanorine และ lecideine (Purvis, 2000)



ภาพ 2.8 lirellate apothecia



ภาพ 2.9-ก perithecia



ภาพ 2.9-ข โครงสร้างภายในของผลแบบ perithecia (Purvis, 2000)

1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการเติบโตช้า มีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 0.2 – 20 มิลลิเมตร/ปี (กัณฐริย์ และกวินนาถ, 2550) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไลเคนได้แก่ (วนารักษ์, 2551)

1.4.1 วัตถุที่ไลเคนยึดเกาะ ได้แก่

1. ความทนทานของวัตถุ พื้นผิวของวัตถุที่มีความทนทานจะพบไลเคนมากกว่าพื้นผิวที่หลุดลอกง่ายหรือมีอายุสั้น เนื่องจากไลเคนมีโอกาสดำรงชีพบนวัตถุที่ทนทานได้นานกว่า เช่น พบไลเคนบนบริเวณกิ่งไม้มากกว่าบนใบไม้ในป่าไม่ผลัดใบ

2. ลักษณะของพื้นผิววัตถุ พื้นผิวที่ขรุขระหรือมีร่อง มีรอยแตกจะทำให้โครงสร้างในการสืบพันธุ์ของไลเคนมีโอกาสดึงดูดสปอร์ได้ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบ เช่น ตามรอยแตกของเปลือกไม้จะพบไลเคนเจริญอยู่ ซึ่งรอยแตกดังกล่าวมักจะมีความชื้นสูงกว่าบริเวณอื่น ทำให้เหมาะสมกับการเจริญของไลเคน

3. ความเป็นกรด-ด่างของวัตถุ ไลเคนส่วนใหญ่เจริญได้ดีบนวัตถุที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป อย่างไรก็ตามไลเคนบางชนิดสามารถเจริญบนวัตถุที่มีคุณสมบัติความเป็น

กรค่อนข้าง เช่น บนเปลือกต้นสน ในขณะที่บางชนิดจะเจริญบนวัตถุที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง เช่น ตามกำแพงคอนกรีต ต้นไม้ที่มีความเป็นกรด-ด่างของเปลือกต่างกันอาจพบไลเคนต่างชนิดเจริญอยู่

4. ปริมาณของสารอาหารในวัตถุ บนลำต้นของต้นไม้ที่มีน้ำจากเรือนยอด กิ่ง ใบ ไหลผ่าน (stem flow) เปลือกไม้บริเวณนี้จะมีสารอาหารสูงเหมาะกับการเจริญของไลเคน จากการศึกษาในต่างประเทศพบว่าต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ใกล้ถนนจะมีการสะสมสารอาหารจากฝุ่นบนเปลือกไม้สูง

1.4.2 ปริมาณน้ำหรือความชื้น

ไลเคนไม่มีโครงสร้างที่ใช้ในการดูดน้ำ หรือกักเก็บน้ำ น้ำจะแพร่เข้าสู่ทลัสอย่างรวดเร็วจนทลัสที่แห้งอาจอมน้ำได้เพียง 1-2 นาที และส่วนมากจะไม่เกิน 10 นาทีที่อุณหภูมิห้อง คริสโตสบางชนิดมีสารประกอบไลเคนที่ทำให้ทลัสเปื่อยน้ำยาก จึงอาจต้องใช้เวลามากกว่าหนึ่งชั่วโมงที่ทำให้ทลัสอมน้ำ ความชื้นมีความสำคัญในการเติบโตของไลเคน เมื่อทลัสได้รับน้ำ เมตาบอลิซึมต่างๆ ภายในจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ไลเคนเติบโต และสิ้นสุดลงอย่างรวดเร็วเช่นกันเมื่อน้ำหมด ดังนั้นในฤดูฝนจะเป็นช่วงที่ไลเคนเติบโตได้ดี และเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งความชื้นลดลง อัตราการเติบโตของไลเคนจะลดลงและพักตัว ไลเคนที่เจริญอยู่บนเปลือกไม้จะได้รับความชื้นจากภายในต้นไม้ และความชื้นที่มาจากปัจจัยภายนอก เช่น น้ำฝน น้ำค้าง คุณสมบัติของเปลือกไม้ที่แตกต่างกัน เช่น ความหนาแน่น ความพรุน ลักษณะผิวของเปลือกไม้ ทำให้เปลือกไม้มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำต่างกัน

1.4.3 แสง

เป็นปัจจัยที่สำคัญในการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในไลเคน จากการศึกษาของหน่วยวิจัยไลเคนของมหาวิทยาลัยรามคำแหง พบว่าแสงในช่วงเช้ามีความสำคัญต่อการเติบโตของไลเคน เนื่องจากทลัสได้ดูดซับน้ำจากบรรยากาศสะสมไว้ตลอดคืน ทำให้มีวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงในช่วงเช้าไลเคนได้รับแสงที่เหมาะสม จึงทำการสังเคราะห์แสงได้ ซึ่งจะสิ้นสุดลงเมื่อน้ำหมดไปจากทลัส หลังจากนั้นไลเคนจะเข้าสู่การพักตัว และจากการศึกษาบริเวณภาคเหนือตอนบนพบว่า จะพบไลเคนมากบนลำต้นไม้ทางทิศตะวันออก ทิศเหนือ แต่พบน้อยในทิศตะวันตกและทิศใต้ซึ่งคาดว่า ในทิศตะวันตก ทิศใต้ ได้รับแสงในปริมาณมากในช่วงบ่าย ทำให้ความชื้นบนวัตถุที่ไลเคนเกาะอยู่ต่ำ อย่างไรก็ตามต้องสังเกตสภาพทั่วไปด้วย ตามป่าโปร่งจะพบไลเคนเจริญอยู่บนลำต้นของต้นไม้ ในขณะที่ป่าทึบที่มีแสงสว่างส่องลงมาเพียงเล็กน้อย อาจมีเพียงไลเคนกลุ่มที่ชอบที่ร่มเจริญอยู่บนลำต้นด้านล่าง ส่วนด้านบนที่มีแสงเพียงพอก็จะพบไลเคนหลากหลายชนิดมากกว่า ในป่าทึบทิศทางของแสงที่ผ่านเข้ามาที่ลำต้นจะไม่สม่ำเสมอ โดยปกติมักจะพบไลเคนในด้านที่มีแสง

1.4.4 อุณหภูมิ

ในห้องปฏิบัติการไลเคนที่เปียกน้ำสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 35 – 46 องศาเซลเซียส บางชนิดทนทานได้มากกว่า 70 องศาเซลเซียสเมื่อทลัสแห้ง อุณหภูมิที่สูงมากเกินไปมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ภายในไลเคน เช่น ลดอัตราการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังมีผลเพิ่มการสูญเสียน้ำและเพิ่มการหายใจของไลเคน ส่งผลต่อการเติบโต

1.5 ประโยชน์ของไลเคน

มีการใช้ประโยชน์ไลเคนในด้านต่างๆ มาตั้งแต่ยุคโบราณ ซึ่งจำแนกได้ดังนี้ (กัทธรีย์ และกวินนาถ, 2550)

1. ด้านอาหาร ไลเคนไม่มีแป้งและเซลลูโลสที่แท้จริง แต่มีสารพวกไลเคนนิน (lichenin) ที่ผนังเซลล์ของราซึ่งนำมาใช้เป็นอาหารได้ ในยุโรปใช้ไลเคนป่นเป็นผงผสมแป้งทำขนมปังกรอบสำหรับนักเดินเรือ เรียกว่า “sea biscuit” ทำให้ขนมปังกรอบอยู่ทนทานไม่ถูกแมลงรบกวน ส่วนในฟินแลนด์นำไลเคน *Cladonia* sp. หรือ Reindeer moss ผสมกับแป้งไรน์ (Rye) ใช้ในการทำขนมปัง ชาวอิสราเอลใช้ *Lecanora esculenta* ประกอบอาหารตามหลักศาสนา และเรียกว่าเป็นขนมปังจากสวรรค์ เป็นต้น

2. สรรพคุณในด้านสมุนไพรและยา ชาวอียิปต์โบราณใช้ไลเคนเป็นส่วนประกอบของยา และสมุนไพร มีการค้นพบโลที่บรรจุเมล็ดและส่วนของพืชต่างๆ รวมทั้งไลเคน *Evernia furfuracea* ที่มีอายุประมาณ 1,700 – 1,800 ปีก่อนคริสตกาล ในคริสต์ศตวรรษที่ 15 ยุโรปนำไลเคนหลายชนิดที่ใช้รักษาโรค ไลเคนที่มีรสขม เช่น *Pertusaria amara* ถูกใช้แทนควินิน ไลเคนชนิดนี้เคยพบที่อุทยานแห่งชาติขุนตาล จังหวัดลำปาง ในประเทศไทยมีการใช้ไลเคน “ฝอยลม” (*Usnea* spp.) เป็นยาสมุนไพรโบราณเช่นกัน

3. การหมักเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ มีการนำไลเคน *Lobaria pulmonaria* ที่เติบโตบนต้นสน มาหมักทำเบียร์แทนใบฮอปในไซบีเรีย ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีการใช้ไลเคนในการทำเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ในสวีเดน ใช้ไลเคนหลายชนิด ได้แก่ *Cladonia rangiferina*, *Cetraria islandica*, *Alectoria jubata*, *Physia ciliaris*, *Ramalina fraxinea* และ *Usnea florida* เป็นต้น มาผ่านกรรมวิธีต่างๆ เพื่อให้ไลเคนนินเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสแล้วจึงหมักให้เป็นแอลกอฮอล์

4. ไลเคนเป็นสีย้อม ไลเคนให้สีต่างๆ จึงถูกใช้เป็นสีย้อมมานานตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณ ไลเคนประมาณ 20 ชนิด ให้สีที่เรียกว่า “ออซิลล์” (orchil) เป็นโทนสีม่วง โดยประเทศฝรั่งเศสและฮอลแลนด์เป็นประเทศที่เคยผลิตสีเหล่านี้จากไลเคนในเชิงอุตสาหกรรม สีจากไลเคนใช้ย้อมเส้นใยจากสัตว์ เช่น ขนสัตว์และไหมได้ดี แต่ย้อมเส้นใยจากพืช เช่น ฝ้ายไม่ได้ นอกจากนี้ยังมีไลเคนอีก

หลายชนิดที่ให้สีข้มต่างๆ เช่น สีแดง สีนํ้าตาลแดง สีเหลืองนํ้าตาล สีนํ้าตาล สีเหลือง

5. ไลเคนในนํ้าหอม ในฝรั่งเศสใช้ไลเคน *Evernia prunastri* ซึ่งเรียกว่า oak moss ผสมในนํ้าหอม ให้กลิ่นชื่นใจและติดทนนาน

6. ไลเคนทำความสะอาดผม ในศตวรรษที่ 17 มีการใช้ผงจากไลเคน *Ramalina calciaris* ในการทำให้ผมสะอาดปราศจากรังแค

7. การฟอกย้อม คุณสมบัติในการเป็นแอสตรินเจนของ *Cetraria islandica* และ *Lobaria pulmonaria* ทำให้ถูกนำมาใช้ในการฟอกหนัง

8. พืชของไลเคน ไลเคนผลิตกรดอินทรีย์หลายชนิดซึ่งอาจมีรสเผ็ดแต่ไลเคนที่มีพืชมีเพียง 2 ชนิด คือ *Letharia vulpina* และ *Cetraria pinastrii* ซึ่งชาวยุโรปเหนือใช้เพื่อสุนัขจิ้งจอก

9. การใช้ไลเคนบอกอายุหิน และโบราณวัตถุ เมื่อผิวหน้าวัตถุเริ่มเปิดหรือสัมผัสอากาศ ไลเคนจะเข้ามาเกาะอาศัยและเติบโต มีขนาดเพิ่มขึ้นตามอายุ การติดตามตรวจวัดอัตราการเติบโต ทำให้สามารถประเมินอายุของวัตถุนั้นได้ วิธีนี้เรียกว่า “ไลเคนโนเมตรี”(Lichenometry) ใช้ประเมินอายุหินและโบราณสถาน ในกรณีของทับหลังนารายณ์บรรทมสินธุ์ที่ปราสาทหินพนมรุ้ง ก็ได้ใช้ไลเคนเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลประกอบในการทดสอบ

10. การใช้ไลเคนเป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพอากาศ ไลเคนอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศ จึงถูกใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพอากาศอย่างแพร่หลาย

1.6 ผลกระทบของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อไลเคน

ในทศวรรษที่ผ่านมาก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นมลพิษหลักที่เป็นอันตรายและมีผลต่อการกระจายตัวของไลเคนในพื้นที่เมืองและอุตสาหกรรม (Hawksworth and Rose, 1976) โดยมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ โดยเฉพาะการเผาไหม้จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยมลพิษนี้จะเคลื่อนที่ไปได้เป็นระยะทางที่ไกล ตามรูปแบบของลม

SO_2 เป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้ง่าย โดยสามารถรวมตัวกับน้ำฝนในบรรยากาศ หรือความชื้นภายในผนังเซลล์ของทลัสไลเคนที่เปียก ผนังเซลล์ของไลเคนมีลักษณะบางจึงไม่ใช่อุปสรรคต่อการแพร่ของก๊าซ SO_2 ที่จะผ่านเข้าสู่ทลัสได้อย่างรวดเร็ว ทั้งในสถานะก๊าซได้แก่ SO_2 และ SO_3 และสถานะสารละลาย ได้แก่ sulphate (SO_4^{2-}), sulphite (SO_3^-) และ bisulphate ion (HSO_4^-) หรือ sulphurous acid (H_2SO_3) ซึ่งจะเป็นสารชนิดใดขึ้นอยู่กับ pH ของเซลล์ไลเคน โดย SO_2 จะเข้าไปรบกวนกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ในไลเคน ได้แก่ photosynthesis, respiration (Hawksworth and Rose, 1976) และ nitrogen fixation ก๊าซ SO_2 จะมีผลต่อเซลล์ของสาหร่าย โดยเข้าไปทำลายคลอโรฟิลล์เอ แล้วเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟดินเอ เนื่องจากสูญเสียธาตุแมกนีเซียม (Mg) หรือไปทำลาย



เยื่อหุ้มเซลล์ของคลอโรพลาสต์ ทำให้การสร้าง ATP ลดลง และไปยับยั้งเอนไซม์ carboxylase อีกทั้งยังทำให้คลอโรพลาสต์มีรูปร่างผิดปกติ ส่วนการหายใจส่งผลให้อัตราการหายใจลดลง เนื่องจากเกิดการบวมของไมโทคอนเดรีย (Hawksworth and Rose, 1976; Richardson, 1992) นอกจากนี้ความเป็นกรดของก๊าซ SO_2 อาจจะมีผลยับยั้งกระบวนการ nitrogen fixation ในไลเคน เนื่องจากกระบวนการดังกล่าว มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH โดยค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ $\text{pH} = 5$ (Gries, 1996) สำหรับในสภาพแวดล้อมของเขตร้อน SO_2 จะเปลี่ยนเป็น SO_4^{2-} อย่างรวดเร็ว และ SO_4^{2-} นี้จะสะสมเป็น particulate matter ในทลัสของไลเคน (Hien *et al.*, 2004 อ้างโดย Saipunkaew *et al.*, 2007) นอกจากนี้ SO_2 ทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกการไหลของพลังงาน และสารตั้งต้นระหว่างสายสำหรับกับรา เช่น เมตาบอไลซึมของ mannitol, trehalose และ glucose ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สายสร้างแล้วจะส่งต่อไปกับรา (Kong *et al.*, 1999) เนื่องจากไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีจำนวนคลอโรพลาสต์ต่ำกว่าพืชชนิดอื่น ดังนั้นก๊าซ SO_2 จำนวนเพียงเล็กน้อยสามารถสร้างความเสียหายที่ร้ายแรงแก่ไลเคน โดยทำให้เสียความสมดุลระหว่างสายและราที่อยู่ในไลเคน จนทำให้ไลเคนตายได้ (Richardson, 1992)

1.7 การใช้ไลเคนในการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศ จึงถูกใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพอากาศอย่างแพร่หลาย เนื่องจากไลเคนได้รับน้ำและแร่ธาตุในการเติบโตจากอากาศ ในสภาพของฝน หมอก น้ำค้าง เมื่ออากาศมีมลพิษและละลายอยู่ในน้ำ จึงเป็นอันตรายต่อไลเคนโดยตรง ประกอบกับไลเคนไม่มีไข (wax) และผิวเคลือบคิวติเคิล (cuticle) ช่วยปกป้องโครงสร้างภายในเช่นเดียวกับพืชชั้นสูง มลพิษจากอากาศจึงเข้าไปทำอันตรายต่อเซลล์ของราและสายภายในทลัสได้ง่าย ทำอันตรายต่อกระบวนการดำรงชีวิต และทำให้ไลเคนตายหรือมีการเติบโตผิดปกติ (กันทรีย์ และกวินนาถ, 2550) ในสภาพที่มีความชื้น ไลเคนมีอัตราเมตาบอไลซึมและกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ไลเคนสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ จึงถูกรบกวนได้โดยมลพิษแม้ในช่วงฤดูหนาว นอกจากนี้ไลเคนมีการเจริญเติบโตช้า ไม่มีการผลัดใบ และมีชีวิตยืนยาวสามารถสะสมสารพิษไว้ในทลัส ซึ่งไม่สามารถขับออกได้ จึงสามารถบอกปริมาณสารพิษที่สะสมได้ (VDI, 1995) การตอบสนองของไลเคนต่อมลพิษอากาศจะเกิดขึ้นตั้งแต่ระดับเซลล์ (cellular) ระดับตัวตน (individual) ประชากร (population) และกลุ่มสิ่งมีชีวิต (community) การไม่มีคิวติเคิลคอยปกป้องและไม่มีราก ไลเคนจึงดูดซับสารจากอากาศทั้งการตกสะสมแบบแห้งและการตกสะสมแบบเปียก (Purvis *et al.*, 2007) ไลเคนแต่ละชนิดมีความทนต่อมลภาวะทางอากาศได้แตกต่างกัน ไลเคนกลุ่มฟรุติโคส ทนต่อมลภาวะทางอากาศได้น้อยที่สุด รองลงมาคือกลุ่มโพลีโอส ส่วนไลเคน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่..... 30 พ.ย. 2554
เลขทะเบียน..... 242719
เลขเรียกหนังสือ.....

กลุ่มครัสโตสทนต่อมลภาวะทางอากาศได้ดีกว่าไลเคนในรูปแบบอื่นๆ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะโครงสร้างของไลเคนของไลเคนกลุ่มฟรุติโคสมีส่วนที่รับอากาศได้ในทุกทิศทาง ในขณะที่โครงสร้างแบบโฟลิโอสและครัสโตสมีส่วนที่สัมผัสอากาศได้น้อยกว่า (หน่วยวิจัยไลเคนมหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2552)

การใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพต่อมลพิษทางอากาศ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การประเมินการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหรือทางชีวเคมีในไลเคน การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไลเคน (morphological changes) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกลุ่มไลเคน (community) หรือการแทนที่ของสปีชีส์ เป็นต้น (Purvis, 2000)

ในปี ค.ศ. 1866 Nylander นักไลเคนวิทยาได้สังเกตว่าไลเคนได้หายไปจากเมืองใหญ่ที่มีมลพิษอากาศสูง ต่อมาพบว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากการเผาไหม้ของถ่านหินในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุที่ทำให้ไลเคนตาย และมีการศึกษาไลเคนและมลพิษอากาศอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในเขตอบอุ่น แต่ยังมีการศึกษาอยู่น้อยในเขตร้อน ซึ่งมีลักษณะทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศที่แตกต่างจากเขตอบอุ่น (วนารักษ์, 2551)

Riga-Karandios and Karandios (1998) ทำการประเมินมลพิษอากาศจากโรงไฟฟ้าถ่านหินโดยเก็บตัวอย่างไลเคน 3 ชนิด จากพื้นที่เมือง Megalopolis ที่ตั้งอยู่ทางใต้ของ Greece ที่ระยะห่างจากโรงไฟฟ้า 0.5 - 11.5 กิโลเมตร ตามระดับความสูงและทิศทางจากโรงไฟฟ้าที่แตกต่างกัน พบว่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์และความเข้มข้นของโลหะหนักในไลเคนมีความสัมพันธ์ทางลบกับระยะห่างจากโรงไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของมลพิษจะลดลงเมื่อระยะห่างจากโรงไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น พบความเข้มข้นของซัลเฟอร์และความเข้มข้นของโลหะหนักในไลเคนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับระดับความสูงของพื้นที่ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ทางลบระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ในตัวอย่างกับค่า pH ของไลเคนทั้ง 3 ชนิด

Hohl *et al.* (2001) ทำการศึกษาการกระจายตัวของ Tardigrades ที่อยู่บนไลเคนบนต้นไม้ในสถานที่เหนือลมและใต้ลมของบริเวณรอบโรงไฟฟ้าถ่านหิน Missouri ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมซึ่งประกอบด้วยมลพิษทางอากาศ เช่น SO_2 อาจจะมีผลกระทบต่อความหนาแน่นและความหลากหลายของ Tardigrades นอกจากนี้ยังศึกษาไลเคนถึงระดับสกุล พบว่าไลเคนในพื้นที่เหนือลมและใต้ลมมีความแตกต่างกัน โดยพบไลเคนทั้งหมด 5 สกุล คือ *Physcia*, *Xanthoria*, *Candelaria*, *Parmelia* และ *Pertusaria* ซึ่งไลเคนสกุล *Pertusaria* และ *Physcia* เป็นไลเคนที่พบทั่วไปในพื้นที่ มีไลเคนเพียง 3 สกุล คือ *Physcia*, *Xanthoria* และ *Parmelia* ที่พบทั้งพื้นที่เหนือลมและพื้นที่ใต้ลม ในขณะที่ *Candelaria* และ *Pertusaria* พบในพื้นที่เหนือลมเท่านั้น

van Dobben *et al.* (2001) หาความสัมพันธ์ระหว่างความอุดมสมบูรณ์ของไลเคนกับความเข้มข้นของมลพิษอากาศในเนเธอร์แลนด์ พบว่า ก๊าซ SO_2 และ NO_2 ในบรรยากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหลากหลายของไลเคน สปีชีส์ของไลเคนเกือบทั้งหมดลดลงเมื่อความเข้มข้นของก๊าซ SO_2 และ NO_2 เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่สะสมมลพิษไว้ในทลัสต์โดยสะท้อนให้เห็นถึงความเข้มข้นของมลพิษในอากาศ

Giordani *et al.* (2002) จัดทำแผนที่ความหลากหลายของไลเคน เพื่อประเมินผลกระทบของมลพิษอากาศต่อความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่เมดิเตอร์เรเนียน พบความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของไลเคนกับความเข้มข้นของก๊าซ SO_2 และ NO_x ซึ่งแสดงให้เห็นว่า SO_2 และ NO_x เป็นมลพิษที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความหลากหลายของไลเคน

Loppi *et al.* (2002) จัดทำแผนที่ความหลากหลายของไลเคน เพื่อใช้บ่งชี้คุณภาพอากาศในเมือง Siena ซึ่งตั้งอยู่บริเวณตอนกลางของประเทศอิตาลี พบว่าคุณภาพอากาศดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลการสำรวจเมื่อปี ค.ศ. 1995 เนื่องจากพบความหลากหลายของไลเคนมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ SO_2 ในพื้นที่ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 – 1999 มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน และพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างชนิดของไลเคนกับปริมาณของ SO_2 อย่างไรก็ตามการประเมินความหลากหลายของไลเคนใช้ได้กับการติดตามตรวจสอบก๊าซ SO_2 และสามารถใช้คาดการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ โดยค่าความหลากหลายสูงสุดสอดคล้องกับคุณภาพสิ่งแวดล้อมดี ในขณะที่ค่าความหลากหลายต่ำ บ่งบอกคุณภาพสิ่งแวดล้อมไม่ดี โดยกลุ่มของไลเคนขึ้นอยู่กับมลพิษในอากาศ โดยเฉพาะ SO_2 และ NO_x

Garty *et al.* (2003) ทำการย้ายปลูกไลเคนชนิด *Ramalina lacera* (With.) ไปไว้บริเวณรอบโรงไฟฟ้าถ่านหิน Orot Rabin ประเทศอิสราเอล เป็นเวลา 7 เดือน แล้วตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของไลเคน พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งแสดงถึงปริมาณการรั่วของ K^+ ภายในเซลล์ มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณของ B, Fe, Mg, Mn, Na, Pb, S, Sn และ Ti ความเข้มข้นของก๊าซเอธิลีนซึ่งถูกสร้างขึ้นในไลเคนภายใต้สภาวะกดดันมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณของ Al, Ba, Pb, S และ V และสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณของ Cu และ Sn อัตราส่วนของคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (F_v/F_m) ซึ่งแสดงถึงศักยภาพในการผลิตของกระบวนการสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณ S ซึ่งผลการตรวจวัดที่ได้ เป็นผลมาจากทิศทางลมที่พัดมลพิษไปสู่พื้นที่ศึกษาบริเวณรอบโรงไฟฟ้า

Loppi *et al.* (2004) ทำการศึกษาคุณภาพอากาศเมือง Montecatini Terme ประเทศอิตาลี ในช่วงปี ค.ศ. 1993-2000 โดยใช้ความหลากหลายทางชีวภาพของไลเคน และการสะสมโลหะหนักในไลเคนชนิด *Flavoparmelia caperata* เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพอากาศ พบว่าคุณภาพอากาศของเมือง

ดีขึ้น โดยค่าดัชนีความหลากหลายเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของโลหะหนักที่สะสมในไลเคนลดลง แหล่งหลักที่ปล่อยมลพิษคือ ยานพาหนะจากการจราจร ซึ่งภายหลังได้มีการเปลี่ยนแปลงระบบการเผาไหม้ของมีเทน ทำให้ปริมาณของ SO_2 ลดลง และมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่มีสารตะกั่ว ทำให้สารตะกั่วลดลง การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ไลเคนจะมีอัตราการเติบโตช้า แต่ก็มี การตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการลดลงของความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ

Giordani (2007) ทำการศึกษาความหลากหลายของไลเคนในการติดตามตรวจสอบมลพิษทางอากาศในพื้นที่ป่า พื้นที่ตัวเมืองและรอบเมือง โดยใช้ตัวแปร 12 ตัว ในการทำนยามมลพิษทางอากาศในเมือง Genova ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอิตาลี พบว่าความหลากหลายของไลเคนมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปี ส่วน SO_2 เป็นก๊าซหลักที่มีอิทธิพลต่อความหลากหลายของไลเคนในเขตตัวเมือง โดยพบว่าความหลากหลายของไลเคนจะเริ่มลดลงเมื่อปริมาณก๊าซ SO_2 มากกว่า 8 ดัน/ปี และความหลากหลายลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์เมื่อปริมาณก๊าซ SO_2 มากกว่า 15 ดัน/ปี สำหรับพื้นที่ป่า การเก็บเกี่ยวของป่า (harvesting) และไฟป่ามีผลต่อความหลากหลายของไลเคน ซึ่งจากกรณีศึกษานี้ ยืนยันได้ว่า ความหลากหลายของไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ที่เชื่อถือได้ในการติดตามตรวจสอบมลพิษทางอากาศ

Jeran *et al.* (2007) ใช้ไลเคนเป็นตัวชี้วัดมลพิษอากาศของป่า Slovenian ในปี ค.ศ. 2000 - 2001 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าสำรวจเมื่อปี ค.ศ. 1991 และ 1992 ซึ่งในการสำรวจครั้งแรกทำการสำรวจการปกคลุมของไลเคน ส่วนการสำรวจครั้งหลัง ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของ S, N, As, Br, Ce, Cd, Cr, K, La, Mo, Rb, Sb, Th, U และ Zn ที่สะสมอยู่ในไลเคนชนิด *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. พบว่าการปกคลุมของไลเคนมีน้อยมาก ในจุดเก็บตัวอย่างประมาณ 70 % พบการปกคลุมของโพลิโอสไลเคนมีน้อยกว่า 10 % และไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ N, S และธาตุพื้นฐานที่สะสมในไลเคน *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. กับการปกคลุมของโพลิโอสไลเคน

Munzi *et al.* (2007) ใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในการศึกษาผลกระทบของมลพิษอากาศต่อความหลากหลายของไลเคนของกรุงโรม ในช่วงปี ค.ศ. 1982 - 2003 ซึ่งในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ไลเคนที่พบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจุบันสำรวจพบไลเคน 102 ชนิด ซึ่งเป็นกลุ่มที่ชอบเปลือกไม้ที่เป็นกรด ชอบแสงมาก มีลมและไกล้ทะเล โดยพบไลเคนความหลากหลายสูงในเขตนอกเมืองและทางด้านทิศเหนือของเมือง ไลเคนมีความหลากหลายน้อยที่สุดในบริเวณกลางเมืองและในด้านตะวันออกและตะวันตกของเมือง ในขณะที่พื้นที่ไลเคนสูญหาย (lichen desert) ก็มีปริมาณลดลงควบคู่กับการลดลงของก๊าซ CO , NO_x และ SO_2

1.8 การศึกษาการใช้ไลเคนบ่งบอกคุณภาพอากาศในประเทศไทย

Saipunkaew (1994) ใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับการตรวจสอบมลภาวะอากาศในเมืองเชียงใหม่ โดยคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศและสร้างแผนที่คุณภาพอากาศ แผนที่บ่งชี้การกระจายตัวของไลเคนแตกต่างกัน บริเวณที่มีความถี่ของไลเคนสูงบ่งชี้คุณภาพอากาศดีกว่า บริเวณที่มีความถี่ของไลเคนต่ำบ่งชี้คุณภาพอากาศต่ำ ระดับคุณภาพอากาศแบ่งได้เป็น 4 ระดับ บ่งชี้บริเวณที่มีมลภาวะสูงมากจนถึงมลภาวะปานกลาง ไม่มีบริเวณใดในพื้นที่ตรวจสอบที่มีมลภาวะรุนแรง หรือมีมลภาวะต่ำหรือมีมลภาวะต่ำมาก

ปาตี (2545) ใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพเพื่อติดตามตรวจสอบมลพิษทางอากาศในเขตเมืองและนอกเมืองจังหวัดเชียงใหม่ในปี พ.ศ. 2544 โดยคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศและสร้างแผนที่คุณภาพอากาศเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2536 พบว่าปี พ.ศ. 2544 ขอบเขตของมลพิษทางอากาศสูงได้ขยายขอบเขตออกไปในบริเวณรอบนอกเมืองมากกว่าปี พ.ศ. 2536 เป็นการชี้ให้เห็นว่ามลพิษทางอากาศได้เพิ่มสูงขึ้นกว่าในอดีต และจากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณฟิโอฟิตินในไลเคนชนิด *Parmotrema tinctorum* (Nyl.) Hale ที่ย้ายมาไว้ในบริเวณตัวเมืองและรอบนอกเมือง พบว่าไลเคนที่ย้ายมาไว้ในบริเวณตัวเมืองซึ่งมีการจราจรหนาแน่น มีกิจกรรมของมนุษย์มาก มีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำกว่าไลเคนในบริเวณรอบนอกเมืองซึ่งมีการจราจรที่เบาบางกว่า และยังพบว่าไลเคนที่อยู่ในบริเวณที่กลางแจ้งมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ สูงกว่าไลเคนที่อยู่ในบริเวณที่ร่ม ในขณะที่ปริมาณฟิโอฟิตินของไลเคนในที่ร่มสูงกว่าไลเคนในที่กลางแจ้ง

Pomphueak (2005) ใช้ไลเคนประเมินคุณภาพอากาศในเขตตัวเมืองและรอบเมืองลำปาง โดยวิธีการระบุค่าความหลากหลายของไลเคน (lichen diversity values; LDVs) แล้วนำค่าที่ได้ไปจัดกลุ่มลำดับชั้นคุณภาพอากาศ และทำการเก็บตัวอย่างอากาศแบบแพสซีฟ เพื่อวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละหน่วยเก็บตัวอย่าง ผลการศึกษาพบไลเคนทั้งหมด 21 ชนิด ซึ่งเป็น crustose 15 ชนิด และเป็น foliose 6 ชนิด สามารถแบ่งลำดับชั้นคุณภาพอากาศได้ทั้งหมด 8 ชั้น วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่า LDVs และความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่า LDVs และความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จึงเป็นก๊าซที่มีผลต่อค่าความหลากหลายของไลเคนมากกว่าในพื้นที่ทำการศึกษา

Saipunkaew *et al.* (2005) ทำการสำรวจไลเคน 19 พื้นที่ ในจังหวัดเชียงใหม่และพื้นที่รอบเมืองเชียงใหม่ ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ในเมือง อุตสาหกรรม เกษตรกรรม และพื้นที่ป่า ในระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล 260 – 1,450 เมตร พบว่า ความหลากหลายของไลเคนสูงสุดในพื้นที่ป่าที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 600 เมตร และความหลากหลายของไลเคนต่ำสุดในพื้นที่เมือง

และเกษตรกรรม ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลน้อยกว่า 400 เมตร ความสูงจากระดับน้ำทะเลของพื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อการปกคลุมของโพลิโอสไลเคนและครัสโตสไลเคน โดยพบว่าพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 600 เมตร พบโพลิโอสไลเคนเด่นกว่าครัสโตส ส่วนพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 250 - 400 เมตร พบครัสโตสไลเคนเป็นกลุ่มเด่น การตรวจสอบทางชีวภาพของมลพิษอากาศของพื้นที่ ไม่สามารถใช้ความหลากหลายของไลเคนเพียงอย่างเดียวได้ ต้องอาศัยข้อมูลการตรวจสอบมลพิษอากาศในพื้นที่ร่วมด้วย

Saipunkaew *et al.* (2007) ทำการสำรวจไลเคนบนต้นมะม่วงในเขตตัวเมืองและเขตชนบทบริเวณใกล้เคียง ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย พบว่าความหลากหลายของไลเคนจะต่ำสุดในตัวเมือง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีประชากรมากที่สุด นอกจากนี้ความหลากหลายของไลเคนยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำฝน สังกมไลเคนได้รับอิทธิพลจาก PM_{10} มากกว่าก๊าซซัลเฟอร์ที่มาจากการกระทำของมนุษย์

แสงรวี (2551) ทำการศึกษาความหลากหลายของไลเคนและใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ในการตรวจสอบคุณภาพอากาศบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ. ลำปาง ผลการศึกษาพบไลเคน 25 ชนิด ดัชนีความหลากหลายของไลเคนมีค่าต่ำสุดในพื้นที่หมู่บ้านสบเมะซึ่งตั้งอยู่ใกล้โรงไฟฟ้ามากที่สุด และดัชนีความหลากหลายของไลเคนมีค่าสูงสุดในพื้นที่หมู่บ้านดง ซึ่งตั้งอยู่ทางเหนือและมีระยะห่างจากโรงไฟฟ้าออกไป ไลเคนชนิด *Dirinaria picta*, *Chrysothrix xanthina*, ไลเคนในวงศ์ Graphidaceae และไลเคนกลุ่มครัสโตสที่ไม่สร้าง fruiting body เป็นไลเคนที่พบทั่วไปในทุกบริเวณพื้นที่ศึกษา ในพื้นที่ศึกษาทุกพื้นที่พบไลเคนในกลุ่มครัสโตสมากกว่าไลเคนกลุ่มโพลิโอส และพบการฟอกขาวของทัลลัสไลเคนในกลุ่มโพลิโอสบางชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าไลเคนส่วนใหญ่ที่เจริญอยู่บนต้นมะม่วงที่ทำการศึกษา มักอยู่ในทิศทางที่หลบเลี่ยงจากด้านที่หันเข้าหาโรงไฟฟ้า

2. passive sampling technique

การเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ อาศัยหลักการไหลอย่างอิสระของโมเลกุลที่ต้องการวิเคราะห์ จากตัวกลางของตัวอย่างไปยังตัวกลางดูดซับ โดยอาศัยผลของความแตกต่างของความต่างศักย์ทางเคมีของสารที่ต้องการวิเคราะห์ระหว่างสองตัวกลาง วิธีนี้สามารถนำไปใช้สำหรับการตรวจหาสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ทั้งในอากาศ น้ำ และดิน (Gorecki and Namiesnik, 2002) จากสารมลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ จะผ่านเข้าสู่กระดาศกรองที่จับสารละลายที่เป็นตัวดักจับที่เหมาะสม ซึ่งอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างนี้เรียกว่า passive samplers หรือ diffusive samplers (Santis *et al.*, 1997)

การเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ มีข้อดี คือ มีประสิทธิภาพสูง มีราคาถูก ขั้นตอนหรือเทคนิคในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สารเคมีที่ใช้หาได้ง่ายและมีราคาถูก อุปกรณ์สามารถขนย้ายได้สะดวก เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา เจียบไม่มีเสียงรบกวน ไม่เด่นสะดุดตา ดูแลรักษาง่าย สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ รวมทั้งไม่ใช้ไฟฟ้าในการเก็บตัวอย่าง จึงสามารถนำไปใช้ได้แม้แต่ในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ (Cruz *et al.*, 2004; Ferm and Svanberg, 1998; Krochmal and Kalina, 1997a; Santis *et al.*, 1997) อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างสามารถจัดเก็บไว้ทั้งก่อนและหลังจากการเก็บตัวอย่างได้นานมากกว่า 10 อาทิตย์ และสามารถส่งไป-กลับ ถึงห้องปฏิบัติการกลางทางไปรษณีย์ได้ จึงทำให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้น จึงเหมาะสำหรับการติดตามตรวจสอบมลพิษอากาศในหลายพื้นที่พร้อมกัน หรือพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ (Krochmal and Kalina, 1997b)

หลักการแพร่ของก๊าซในเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ สามารถอธิบายได้จาก Flick 's First Law (Gair *et al.*, 1991) ดังนี้

$$F_1 = -D_{1,2}dc_1/dz \quad (2.1)$$

เมื่อ F_1 = อัตราการไหลของก๊าซ (the flux of gas) ($\text{mol cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 $D_{1,2}$ = สัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซชนิด 1 และ 2 ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)
 c_1 = ความเข้มข้นของก๊าซชนิด 1 และ 2 (mol cm^{-3})
 z = ระยะทางที่เกิดการแพร่ (cm)

ปริมาณก๊าซที่เคลื่อนที่ (Q_1 mol) ในเวลา t วินาที ผ่านกระบอกที่มีรัศมี r สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$Q_1 = F_1 (\pi r^2) t \text{ mol} \quad (2.2)$$

เพราะฉะนั้น

$$Q_1 = -D_{1,2} (c_1 - c_0) (\pi r^2) t / z \text{ mol} \quad (2.3)$$

เมื่อ c_0 คือ ปริมาณของก๊าซที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับได้ เพราะฉะนั้น $(c_1 - c_0)/z$ มีค่าเท่ากับ ปริมาณของก๊าซที่ดูดซับได้ต่อความยาวของหลอด (z) ถ้าก๊าซชนิดที่ 1 ถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับที่มี ประสิทธิภาพ ดังนั้น c_0 จะมีค่าเท่ากับศูนย์

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซ SO_2 ในบรรยากาศ ในหน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ได้จากสมการ (Plaisance *et al.*, 2002)

$$C (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{[Q \times z]}{[(\pi r^2) \times t \times D]} \quad (2.4)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของก๊าซ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q = ปริมาณของก๊าซที่เคลื่อนที่ในหลอดเก็บ (μg)

z = ความยาวของหลอดเก็บตัวอย่าง (m)

πr^2 = พื้นที่หน้าตัดของหลอดเก็บตัวอย่าง (m^2)

t = ระยะเวลาในการตรวจวัด (s)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ผ่าน (m^2/s)

(สัมประสิทธิ์การแพร่ของ SO_2 คือ $1.27 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

การคำนวณหาปริมาณของก๊าซในหลอดเก็บตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับผลผลิตสุดท้ายหลังจาก ทำปฏิกิริยากับตัวดูดซับ ซึ่งค่า Q ของก๊าซ SO_2 สามารถคำนวณได้จาก สมการ 2.5 ซึ่งได้จากการ วิเคราะห์หาความเข้มข้นของ SO_4^{2-} (ppm) จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ จากสารสกัดปริมาตร 4 มิลลิลิตร

$$Q (\mu\text{g}) = \text{ความเข้มข้นของ } \text{SO}_4^{2-} (\text{ppm}) \times 4 \text{ ml} \times 64/96 \quad (2.5)$$

การแปลงหน่วยของก๊าซ SO_2 จาก $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็นหน่วย ppb หรือ ppbv ได้จากสมการ

$$\text{ppb} = \frac{\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{molecular volume (litres)}}{\text{molecular weight}} \quad (2.6)$$

$$\text{เมื่อ } \text{molecular volume} = \frac{22.41 \times T}{273} \times \frac{101.3}{P}$$

T = อุณหภูมิ (K)

P = ความดันบรรยากาศ (kPa)

หลอดเก็บตัวอย่าง (diffusion sampler) แบบแพสซีฟ ถูกนำมาใช้ครั้งแรกโดย Palmes *et al.* ในปี 1976 เพื่อตรวจวัดปริมาณ NO_2 ในอากาศภายในอาคาร โดยใช้หลอดเก็บตัวอย่างที่มีกระดาษกรองที่ชุบด้วยสารดูดซับอยู่ภายใน ซึ่งพบว่าจำนวนของสารดูดซับต้องได้สัดส่วนกับความเข้มข้นของก๊าซ โมเลกุลของก๊าซจะแพร่ไปสู่ตัวดูดซับและอัตราการแพร่จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Palmes *et al.*, 1976 อ้างโดย Perkauskas and Mikelineskiene, 1998) หลังจากนั้นก็มีผู้สนใจนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น การตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน แอมโมเนีย ฟอสฟอรัสไดไฮไดรด์ เป็นต้น เริ่มแรกเทคนิคนี้ใช้ในการตรวจวัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในอากาศเท่านั้น แต่ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้ ให้สามารถตรวจวัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนทั้งในน้ำและในดินได้ด้วย (สิวพรและปาริชาติ, 2547)

Krochmal and Kalina (1997a) ใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซ NO_2 และ SO_2 ในพื้นที่เมืองและชนบทของประเทศโปแลนด์ โดยใช้กระดาษกรอง Whatman 1 Chr ที่ชุบด้วย TEA เป็นตัวดูดซับ ใช้เวลาตรวจสอบหนึ่งเดือน แล้ววิเคราะห์ NO_2 ในรูปไนเตรตด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และ SO_2 ในรูปซัลเฟตด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี สามารถตรวจวัดระดับของมลพิษได้แตกต่างกันตามพื้นที่เมืองและชนบท อีกทั้งสามารถสร้างแผนที่การกระจายตัวของก๊าซ NO_2 และ SO_2 ในเขตชนบทของโปแลนด์ได้และยังพบว่าในฤดูหนาวมี SO_2 สูงกว่าฤดูร้อนเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินในครัวเรือนเพิ่มขึ้น

Krochmal and Kalina (1997b) ได้พัฒนาช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ เป็น 24 ชั่วโมง และ 1 เดือน พบว่าการใช้ suppressed และ nonsuppressed IC จะให้ detection limit ที่ต่ำ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง 1 เดือนจะให้ detection limit ที่ต่ำกว่า (lower determination limit) ของทั้ง NO_2 และ SO_2 คือ 0.5 และ 0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ส่วนช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมงได้ detection limit ที่สูงกว่า มีการลดผลกระทบของลม ฝน และแสงด้วยการใส่ samplers ในที่กำบัง ลมก่อนนำไปแขวน ซึ่งเทคนิคนี้มีความแม่นยำและ detection limit ที่ต่ำ จึงเหมาะสำหรับการตรวจวัดทั้งเขตเมืองและเขตชนบท

Santis *et al.* (1997) ได้พัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบ badge-type samplers ที่มีความยาวแตกต่างกันสองชนิด ในการตรวจวัดก๊าซ NO_2 และ SO_2 ในอากาศ ซึ่งใช้กระดาษกรอง Whatman GF/A ที่ชุบด้วย TEA และกลีเซอรินเป็นสารดูดซับ พบว่าวิธีดังกล่าวให้ detection limit ที่ต่ำทั้ง NO_2 และ SO_2 คือ 5 ppb และ 10 ppb ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำวิธีนี้ไปใช้ได้ในพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบท

Yang *et al.* (1997) พัฒนาวิธีการ FIA method โดยการนำ barium-dimethylsulfoazo-III complex มาใช้เป็น reagent และใช้ BaSO_4 -immobilized in-line reaction column เพื่อเพิ่มความไวในการตรวจวัด SO_2 ในอากาศด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ ซึ่งใช้กระดาษกรองที่ชุบด้วย TEA แล้วสกัดซัลเฟตไอออน ด้วย H_2O_2 วัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สามารถวัดซัลเฟตไอออน ได้ในช่วง 0.08 – 10.00 mg/l ได้ค่า RSD น้อยกว่า 1.6 % ซึ่งวิธีที่พัฒนานี้สามารถให้ผลดีเมื่อเทียบกับการวัดด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี ในการตรวจวัด SO_2 ในอากาศ

Ferm and Svanberg (1998) ใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซ SO_2 และ NO_2 ในพื้นที่เมืองของประเทศสวีเดน ซึ่งในการตรวจวัดภายนอกอาคารมีผลกระทบจากลม ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบดังกล่าวจึงใช้หลอดเก็บตัวอย่างที่ยาวขึ้น ต่อมาพัฒนาให้หลอดสั้นลงและกว้างขึ้น ซึ่งสามารถวัด SO_2 และ NO_2 ได้ 0.1 - 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ 0.1 - 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอกทีฟ ให้ผลที่สอดคล้องกันสามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดได้ทั้งพื้นที่เมืองและพื้นที่ควบคุม

Perkauskas and Mikeliniskiene (1998) ทำการประเมินระดับความเข้มข้นของก๊าซ SO_2 และ NO_2 ในเมือง Vilnius โดยใช้หลอดเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟชนิดโพลิเอทิลีน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ยาว 70 mm ใช้กระดาษกรอง Whatman 40 และใช้ NaHCO_3 เป็นสารดูดซับ ช่วงเวลาว่างหลอด 1 เดือน พบว่าระดับความเข้มข้นของ SO_2 ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นหลัก โดยมีค่าเฉลี่ยของฤดูที่มีอากาศอบอุ่น (warm) และฤดูที่มีอากาศหนาว (cold) คือ 7 – 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ 17 – 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของ NO_2 ขึ้นอยู่กับการจราจร โดยพบว่ามีค่าสูงสุดบริเวณทางแยก และค่าต่ำสุดบริเวณพื้นที่รอบเมืองออกมา

Kasper-Giebl and Puxbaum (1999) ใช้หลอดเก็บตัวอย่างชนิดโพลิเอทิลีน และใช้ TEA เป็นสารดูดซับ พบว่ามีการสะสมของอนุภาคฝุ่นที่ผนังของหลอด ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อปริมาณ NO_2 แต่มีผลกระทบต่อปริมาณ SO_2 โดยละอองซัลเฟตเข้าทางปากหลอด และสะสมในรูปของฝุ่นที่ผนังของหลอด ส่งผลให้ได้ค่าความเข้มข้นของ SO_2 สูงขึ้น ซึ่งสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการใช้ windshield หรือใช้ badge samplers

Cruz *et al.* (2004) ใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ เพื่อตรวจวัดปริมาณก๊าซ SO_2 และ NO_2 ในพื้นที่อุตสาหกรรมและพื้นที่เมืองของประเทศบราซิล โดยใช้กระดาษกรองที่ชุบด้วย Na_2CO_3 เป็นสารดูดซับ แล้วสกัดด้วย H_2O_2 วัดด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ ช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 1 – 4 สัปดาห์ พบว่าช่วงเวลาวางหลอดเก็บตัวอย่าง 1 เดือน และ 1 สัปดาห์ สามารถวัดปริมาณ SO_2 ได้ถึง $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $421 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ วิธีนี้มีความถูกต้องและความแม่นยำสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอทีฟ สามารถใช้ได้ในพื้นที่จริงทั้งในเขตอุตสาหกรรมและเขตเมือง

Shakya (2004) ใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ เพื่อวัดความเข้มข้นของ NO_2 และ SO_2 จากอากาศในเมืองเชียงใหม่ โดยใช้กระดาษกรอง Whatman 40 ชุบด้วยไตรเอทาโนลามีน บรรจุในหลอดพอลิโพรไพลีนและหลอดพอลิเอทิลีน เพื่อดักจับก๊าซทั้งสองชนิด โดยบรรจุหลอดเก็บตัวอย่างดังกล่าวในกล่องพอลิเอทิลีน เพื่อป้องกันการรบกวนจากปัจจัยทางด้านสภาพอากาศ ทำการหาปริมาณ SO_2 โดยวิธีไอออนโครมาโตกราฟี ในรูปของซัลเฟตไอออน ผลที่ได้จากวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟแสดงว่า การใช้หลอดเก็บตัวอย่างดังกล่าวให้ผลการตรวจวัดที่ดีทั้งสำหรับ NO_2 และ SO_2 ความแม่นยำสำหรับวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟมีค่าประมาณร้อยละ 18 และร้อยละ 16 สำหรับ NO_2 และ SO_2 ตามลำดับ

Khaodee (2006) นำเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณของก๊าซในโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และโอโซนในอากาศ ทำการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟชนิดหลอด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการหาปริมาณก๊าซซึ่งเป็นสารมลพิษ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่พัฒนาแล้วประกอบด้วยหลอดโพลีเอทิลีน ซึ่งมีตัวดูดซับเป็นกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman (GF/A) และทำการติดตั้งอุปกรณ์ในวัตถุกำบังเพื่อลดผลกระทบจากสภาพอากาศ สารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับในโตรเจนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี คือ ไตรเอทาโนลามีนที่มีส่วนผสมกลีเซอรอล ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง ต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 3 วัน ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟแล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี มีค่าสูงกว่าค่าจากเครื่องตรวจวัดแบบแอทีฟ (ค่าความแตกต่างมากกว่าร้อยละ 79.8)

มีการนำเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ มาใช้ในการตรวจวัดระดับมลพิษในอากาศ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารมลพิษในอากาศกับไคลเมต โดย สุทธิวรรณ (2549) ทำการศึกษาอัตราการเติบโตของไลเคนชนิด *Pyxine coccinea* Swartz. ในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และเขตตัวเมืองเชียงใหม่ และตรวจวัดปริมาณก๊าซในโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซทั้งสอง ด้วยเครื่องสเปก-

โทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าอัตราการเติบโตของไลเคนชนิดนี้ ในเขตตัวเมืองช้ากว่าในเขตมหาวิทยาลัย เชียงใหม่ โดยในเขตตัวเมืองมีปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงกว่า เขตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และในปี ค.ศ. 2005 Pomphueak ได้นำเทคนิคการเก็บตัวอย่างอากาศ แบบแพสซีฟมาใช้ เพื่อวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่ศึกษา ประกอบกับการใช้ไลเคนประเมินคุณภาพอากาศในเขตตัวเมืองและรอบเมืองลำปาง โดยใช้หลอดโพลิเอทรีนในการดักจับก๊าซทั้งสองชนิด นำมาวิเคราะห์ในรูปของไนไตรท์ (NO_2^-) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) โดยใช้เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี ผลการศึกษาพบว่าความหลากหลายของไลเคนไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์