บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไลเคน

ไลเคน (lichen) เป็นสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัย (symbiosis)ระหว่างรา (mycobiont) กับสาหร่ายสีเขียว (phycobiont) หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) สาหร่ายในไลเคนส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียว มีไลเคนเพียงส่วนน้อยที่มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งพบในไลเคนชนิดที่ต้องการความชุ่มชื้นสูง สาหร่ายที่พบในไลเคนอาจจะมีเพียงชนิดเดียวหรือมีมากกว่าหนึ่งชนิดอาศัยอยู่ร่วมกัน ซึ่งสาหร่ายจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศและน้ำในการสังเคราะห์ด้วยแสงสร้างอาหารที่เป็นสารอินทรีย์แล้วแบ่งให้รา รูปแบบของสารอินทรีย์ที่สาหร่ายสร้างขึ้นนั้นจะแตกต่างกันไปตามกลุ่มของสาหร่าย ในกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวจะสร้างสารอินทรีย์อยู่ในรูปของน้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohols) ส่วนกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะอยู่ในรูปของน้ำตาลกลูโคส (glucose) นอกจากนี้ราจะได้ธาตุไนโตรเจน (nitrogen) จากความสามารถของไซยาโนแบคทีเรียในการตรึงไนโตรเจนได้จากบรรยากาศ ส่วนราจะช่วยเก็บน้ำให้สาหร่ายและปกป้องสาหร่ายจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่างๆ เช่น ความร้อนจากแสงแดด กรองแสงอัลตราไวโอเลต (Ahmadjian, 1993; Gauslaa and Solhaug, 2001; Lawrey, 1986; Rikkinen, 1995; Purvis, 2000)

ราที่ก่อให้เกิดไลเคน

ได้มีการประมาณจำนวนชนิดราที่ก่อให้เกิดไลเคน (lichen-forming fungi) ทั่วโลกที่ทราบชนิดแล้ว อยู่ระหว่าง 17,500 - 20,000 ชนิด ซึ่งเป็นร้อยละ 20 ของราทั้งหมด

และคิดเป็นร้อยละ 40 ของราใน Phylum Ascomycota เป็นราที่ก่อให้เกิดไลเคน (Kirk et al., 2008) ซึ่งประกอบด้วย 2,720 สกุล กระจายตัวอยู่ใน 37 อันดับ และ 16 อันดับ เป็นราที่ก่อให้เกิดไลเคนโดยเฉพาะ (Sipman & Aptroot, 2001)

ตาราง 1

ชนิดของราที่ก่อให้เกิดไลเคนในซับดิวิชัน (subdivision) ของรา

ซับดิวิชัน	จำนวนชนิด	จำนวนชนิดราที่ก่อให้เกิดไลเคน	ราที่ก่อให้เกิดไลเคน (ร้อยละ)
Ascomycotina	28,650	13,250	46.25
Basidiomycotina	16,000	50	0.31
Mastigomycotina	1,170	1	0.09
Mitosportic fungi	17,000	200	1.18
Myxomycotina	625	? 2	? 0.32
Zygomycotina	765	0	0
รวม	64,200	13,500	21

ที่มา. จาก "Lichen-forming fungi: potential sources of novel metabolites," by P. D. Crittenden and N. Porter, 1991, *Trends in Biotechnology*, 9, p. 410.

ตาราง 2

การจัดจำแนกหมวดหมู่ราที่ก่อให้เกิดไลเคน (Classification of lichen-forming fungi)

Dikaryotic Fungi (Dicaryomycota)
Ascomycota
Subphylum Euascomycotina (=Pezizomycotina)
Supraclass Inoperculata
Class Sordariomycetes
Subclass Arthoniomycetidae
Order Arthoniales
Arthoniaceae

ตาราง 2 (ต่อ)

Dikaryotic Fungi (Dicaryomycota)
Chrysotrichaceae
Roccellaceae
Subclass Dothideomycetidae
Order Pleosporales
Arthopyreniaceae
Dacampiaceae
Microtheliopsidaceae
Naetrocymbaceae
Pyrenothricaceae
Subclass Lichinomycetidae
Order Lichinales
Gloeoheppiaceae
Heppiaceae
Lichinaceae
Peltulaceae
Class Lecanoromycetes
Subclass Acarosporomycetidae
Order Acarosporales
Acarosporaceae
Candelariaceae
Subclass Ostropomycetidae
Order Agyriales
Agyriaceae
Anamylopsoraceae

ตาราง 2 (ต่อ)

Dikaryotic Fungi (Dicaryomycota)
Schaereriaceae
Order Gyalectales
Coenogoniaceae
Gyalectaceae
Order Graphidales
Gomphillaceae
Graphidaceae
Solorinellaceae
Thelotremataceae
Order Trichotheliales
Myeloconidaceae
Porinaceae
Order Pertusariales
Coccotremataceae
Ochrolechiaceae
Pertusariaceae
Hymeneliaceae
Megasporaceae
Icmadophilaceae
Order Ostropales
Baeomycetaceae
Arctomiaceae
Protothelenellaceae

ตาราง 2 (ต่อ)

Dikaryotic Fungi (Dicaryomycota)
Arthrorhaphidaceae
Thelenellaceae
Phlyctidaceae
Subclass Lecanoromycetidae
Order Lecanorales
Suborder Peltigerineae
Peltigeraceae
Lobariaceae
Nephromataceae
Massalongiaceae
Coccocarpiaceae
Collemataceae
Pannariaceae
Placynthiaceae
Suborder Lecanorineae
Lecanoraceae
Cladoniaceae
Stereocaulaceae
Squamarinaceae
Parmeliaceae
Cetradoniaceae
Gypsoplacaceae
Haematommaceae

ตาราง 2 (ต่อ)

Dikaryotic Fungi (Dicaryomycota)
Mycoblastaceae
Suborder Psorineae
Pilocarpaceae
Psoraceae
Ramalinaceae
Suborder Physciineae
Catillariaceae
Physciaceae
Suborder Sphaerophorineae
Calycidiaceae
Sphaerophoraceae
Suborder Rhizocarpineae
Rhizocarpaceae
Suborder Teloschistineae
Brigantiaeaceae
Letrouitiaceae
Megalosporaceae
Teloschistaceae
Suborder Lecideineae
Lecideaceae
Porpidiaceae
Lecanorales taxa of unsettled position:

ตาราง 2 (ต่อ)

Dikaryotic Fungi (Dicaryomycota)
Aphanopsidaceae
Biatorellaceae
Miltideaceae
Order Umbilicariales
Umbilicariaceae
Elixiaceae
Fuscideaceae
Umbilicariales genera of unsettled position
Lecanoromycetidae taxa of unsettled position:
Thelocarpaceae
Dactylosporaceae
Pachyascaceae
Vezdaeaceae
Class Eurotiomycetes
Subclass Chaetothyriomycetidae
Order Pyrenulales
Monoblastiaceae
Pyrenulaceae
Strigulaceae
Trypetheliaceae
Xanthopyreniaceae
Order Verucariales
Verrucariaceae

ตาราง 2 (ต่อ)

Dikaryotic Fungi (Dicaryomycota)
Euascomycotina (= Pezizomycotina), taxa of unsettled position:
Coniocybaceae
Microcaliciaceae
Basidiomycota
Class Homobasidiomycetes
Subclass Agaricomycetidae
Order Polyporales
Atheliaceae
Order Agaricales
Clavariaceae
Tricholomataceae

ที่มา. จาก "Lichen Biology" by Thomas H. Nash, 2008, New York: Cambridge University Press. (pp. 342-352).

การศึกษาราในไลเคนระยะแรกมีจุดประสงค์ที่สำคัญคือ ศึกษาส่วนประกอบทางกายวิภาค และสรีรวิทยาของไลเคนรวมทั้ง ศึกษาวิธีที่จะสังเคราะห์ไลเคนขึ้นมาใหม่ (resynthesis) จากราและสาหร่ายแต่ละชนิด Ahmadjian (1993); Crittenden (1995); Yamamoto (1995) จัดได้ว่าเป็นกลุ่มนักวิจัยผู้บุกเบิก และประสบความสำเร็จในการแยกราที่ก่อให้เกิดไลเคน แต่ไลเคนส่วนใหญ่ที่นำมาศึกษาเป็นไลเคนในเขตอบอุ่น อาร์กติก และ แอนตาร์กติกา ในขณะที่ราที่ก่อให้เกิดไลเคนในเขตร้อนนั้นมีการศึกษาที่น้อยมาก

การแยกราที่ก่อให้เกิดไลเคนสามารถแยกได้จากส่วนของ เส้นใย (hyphae) แทลลัส (thallus) ไอซิเดีย (isidia) และ ซอริเดีย (soridia) แต่ส่วนใหญ่ไม่ประสบความสำเร็จ เพราะราที่แยกได้ส่วนใหญ่ไม่ใช่ราที่ก่อให้เกิดไลเคน (Ahmadjian, 1993) โดยแทลลัสในสภาพธรรมชาติจะมีสิ่งมีชีวิตหลากหลายชนิดอาศัยหรือปะปนอยู่กับ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

แทลลัส เช่น ราเส้นใย (Petrini, 1990) แบคทีเรีย และ ยีสต์ ดังนั้นการแยกราที่ก่อให้เกิดไลเคนจึงไม่ควรแยกจากส่วนของแทลลัสบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งมีความเสี่ยงสูงที่สิ่งมีชีวิตชนิดอื่นที่ปนเปื้อนจะเจริญออกมาก่อนราที่ก่อให้เกิดไลเคนเจริญ เนื่องจากราที่ก่อให้เกิดไลเคนเจริญค่อนข้างช้า ดังนั้นในการแยกราที่ก่อให้เกิดไลเคนมักนิยมแยกจากแอสโคสปอร์ หากไม่ประสบความสำเร็จจึงจะใช้วิธีแยกจากแทลลัส (Ahmadjian, 1993) โดยสิ่งที่สำคัญในแยกราที่ก่อให้เกิดไลเคนจากแอสโคสปอร์จะเกี่ยวข้องกับการงอกของแอสโคสปอร์ที่ส่วนใหญ่ค่อนข้างงอกยาก (Ostrofsky and Denison, 1980) ซึ่งสปอร์ของไลเคนชนิดครัสโตสจะมีเปอร์เซ็นต์การงอกที่สูงกว่าไลเคนชนิดโฟลิโอสและ ฟรุติโคส (Kofler, 1970) โดยลักษณะโคโลนี (colony) ของราที่ก่อให้เกิดไลเคนที่แยกได้ เมื่อนำมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ จะมีลักษณะเป็นเส้นใยอัดกันแน่น (compact colony) และยกตัวสูงขึ้น เส้นใยลักษณะโป่งออก (balloon) (Ahmadjian, 1993; Lawrey, 1984)

สารทุติยภูมิของไลเคน

ในปี ค.ศ. 1866 Nylander สามารถวิเคราะห์สารเคมีจากไลเคนได้เป็นครั้งแรก โดยได้ทำการทดสอบสี (spot test หรือ color test) กับสารละลาย เพื่อสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีในเนื้อเยื่อของแทลลัสไลเคน (Nylander, 1866) ต่อมา Asahina and Shibata (1954) ได้ทำการศึกษาโครงสร้างและจัดจำแนกสารไลเคนขึ้นเป็นครั้งแรก โดยอาศัยหลักการของโครงสร้างของสารและวิถีการสังเคราะห์สารอินทรีย์ (biosynthetic pathways) หรือ สารทุติยภูมิ (secondary metabolites) ซึ่งมีการจัดกลุ่มสารทุติยภูมิในไลเคนออกเป็น 3 กลุ่มหลักตามวิถีการสังเคราะห์ ดังแสดงในภาพ 1 และ ตาราง 3

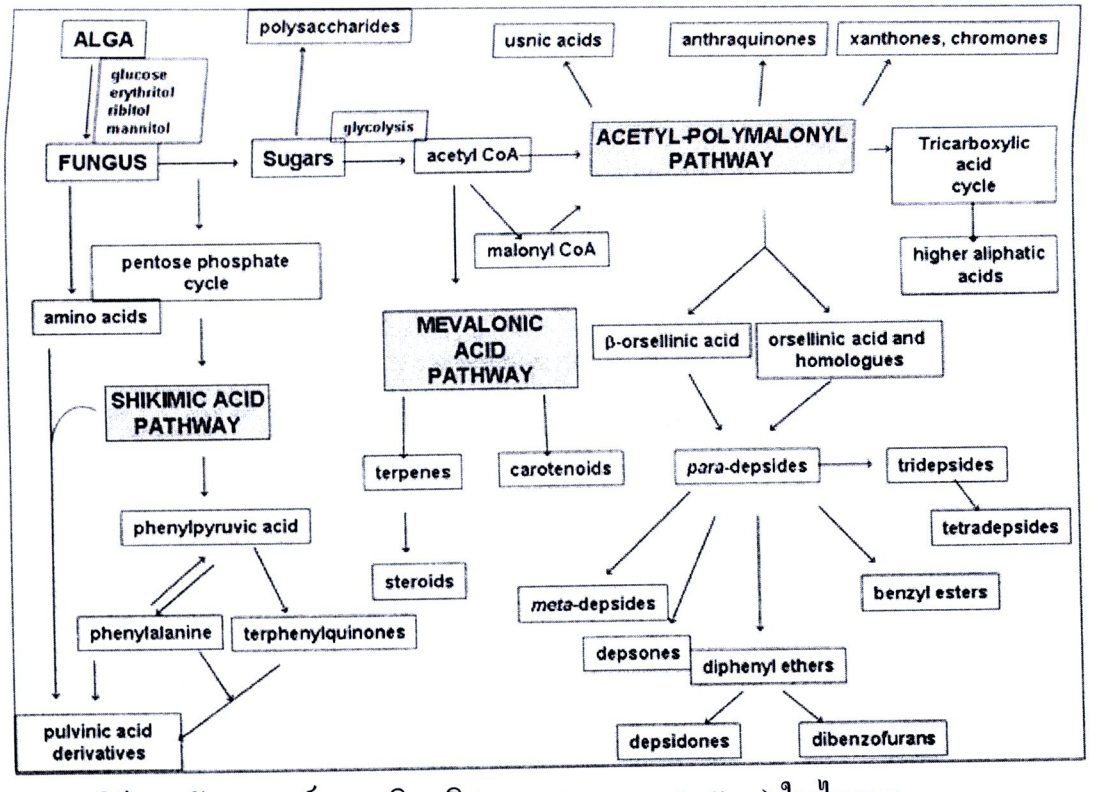
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 12 มี.ค. 2556
เลขทะเบียน 209191
เลขเรียกหนังสือ

ตาราง 3

กลุ่มของสารทุติยภูมิหลักที่พบในไลเคน

1. Acetyl-polymalonyl pathway
    - 1.1 Secondary aliphatic acids, esters and related derivatives
    - 1.2 Polyketide derived aromatic compounds
        - 1.2.1 Mononuclear phenolic compounds
        - 1.2.2 Di-and tri-aryl derivatives of simple phenolic units
            - 1.2.2a Depsides, tridepsides and benzyl esters
            - 1.2.2b Depsidones and diphenyl ethers
            - 1.2.2c Depsones
            - 1.2,2d Dibenzofurans, usnic acid and derivatives
        - 1.2.3 Anthraquinones and biogenetically retated xanthones
        - 1.2.4 Chromones
        - 1.2.5 Naphtaquinones
        - 1.2.6 Xanthones
2. Mevalonic acid pathway
    - 2.1 Di-,sister and triterpenes
    - 2.2 Steroids
3. Shikimic acid pathway
    - 3.1 Terphenylquinones
    - 3.2 Pulvinic acids derivative

ที่มา. จาก *Lichen Biology* (p. 107), by Thomas H. Nash, 2008, New York: Cambridge University Press.



ภาพ 1 วิถีการสังเคราะห์สารทุติยภูมิ (secondary metabolites) ในไลเคน

ที่มา. จาก *Lichen Biology* (p. 106), by Thomas H. Nash, 2008, New York: Cambridge University Press.

สารทุติยภูมิของไลเคนมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่

1. มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (antimicrobial activity) เช่น usnic acid สามารถยังยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวก (gram-positive) เช่น *Streptococcus mutans* โดยในยุโรปใช้เป็นส่วนผสมของครีมอาบน้ำ ในชื่อทางการค้าว่า Usno® และ Evosin® นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารแก้อาการแพ้ (antihistamine) และยับยั้งการเจริญของไวรัส (antiviral agent) (Elix, 1996)

2. มีฤทธิ์ยับยั้งการอักเสบ (anti-inflammatory) และต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เช่น leukotrienes หรือ prostaglandin มีประโยชน์ใช่วยยับยั้งการอักเสบ และอาจจะมีฤทธิ์ในการควบคุมการเจริญของเซลล์มะเร็ง (Marx, 2001) ส่วน depsides

depsidones และ anthraquinones มีฤทธิ์ในการต่อต้านอนุมูลอิสระ (Choi et al., 2000; Hidalgo et al, 1994) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง lipid peroxidation (Ichinose et al., 1994)

3. มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง (anticancer), ฤทธิ์ยังยั้งการกลาย (antimutagenic) และฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของไวรัส (antiviral) Neamati et al.,(1997) ได้ทำการศึกษาโครงสร้างสามมิติและพบว่าสารหลายชนิดในกลุ่มของ depsides และ depsidones มีฤทธิ์ต้านเอนไซม์ HIV-1 integrase และยังพบว่าสาร 3-O-Acyl ซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของ triterpene, ursolic acid มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ HIV (anti-HIV activity) (Kashiwada et al, 2000)

4. อุตสาหกรรมสารสีและเครื่องสำอางค์ มีการใช้ไลเคนบางชนิดในอุตสาหกรรมผลิตน้ำหอม (Sanchez et al, 1997; Schulz and Albroscheit, 1989) เช่น *Evernia prunastri* และ *Pseudevernia furfuracea* ถูกนำมาใช้ในการผลิตน้ำหอมในทางตอนใต้ของยุโรปและประเทศโมรอคโค (Romagni & Dayan, 2002) และมีการใช้ไลเคนเป็นสีในการย้อมเส้นผม (Bachmann & Portmann, 1981)

ตาราง 4

ชนิดของสารทุติยภูมิที่ไลเคนชนิดต่าง ๆ สร้างและการใช้ประโยชน์

ชื่อสาร	ชนิดของไลเคน	การใช้ประโยชน์
	para-Depside	
Anziaic acid	*Anzia japonica, Cetrelia* spp.	Inhibition of prostaglandin synthesis
Atranorin	many spp.	Anticancer, fungitoxin, antifeedant, traditional medicine, perfume industry
Diffractaic acid	*Usnea* spp., *Parmelia spp.*	Anticancer, fungitoxic
	meta – depside	
Boninic acid	*Ramalina boninensis*	Inhibitor of prostaglandin synthesis

ตาราง 4 (ต่อ)

ชื่อสาร	ชนิดของไลเคน	การใช้ประโยชน์
Decarboxythamnolic acid	*Cladonia* spp., *Siphula decumbens*	Vasodilators
Alectoronic acid	*Parmelia* spp., *Cetrelia spp.*	Anti-inflammatory
Norstictic acid	*Parmelia* spp., many spp.	Antiviral
Pannarin	*Pannaria fulvescens*	Traditional medicine
Physodalic acid	*Hypogymnia physodes*	Photoprotection Anti-mutagenicity
	Usnic acid	
(+) and (-) usnic acid	*Cladonia* spp., *Cetraria stacheyi,* *Alectoria* spp., many spp.	Anticancer, cosmetic, deodorant, toothpaste, preservative, antimicrobial, fungicidal, acne protection, herbicidal, treatment for tyrosinemia
	Chromones	
Coeuplectin	*Flavoparmelia euplecta*	Anticancer
Euplectin	*F. euplecta*	Anticancer
Lepraric acid	*Sagenidium molle*	Anticancer
	Depsidone	
Siphulin	*Siphula ceratites*	Anticancer
Sordinone	*Lecanora* spp.	Anticancer
	Xanthones	
Arthothelin	*Arthothelium pacificum,*	Antidepressant
Lichexanthone	*Lecanora vinetorum* *Parmelia* spp., *Lecidea Stigmatea*	Dye, adhesive

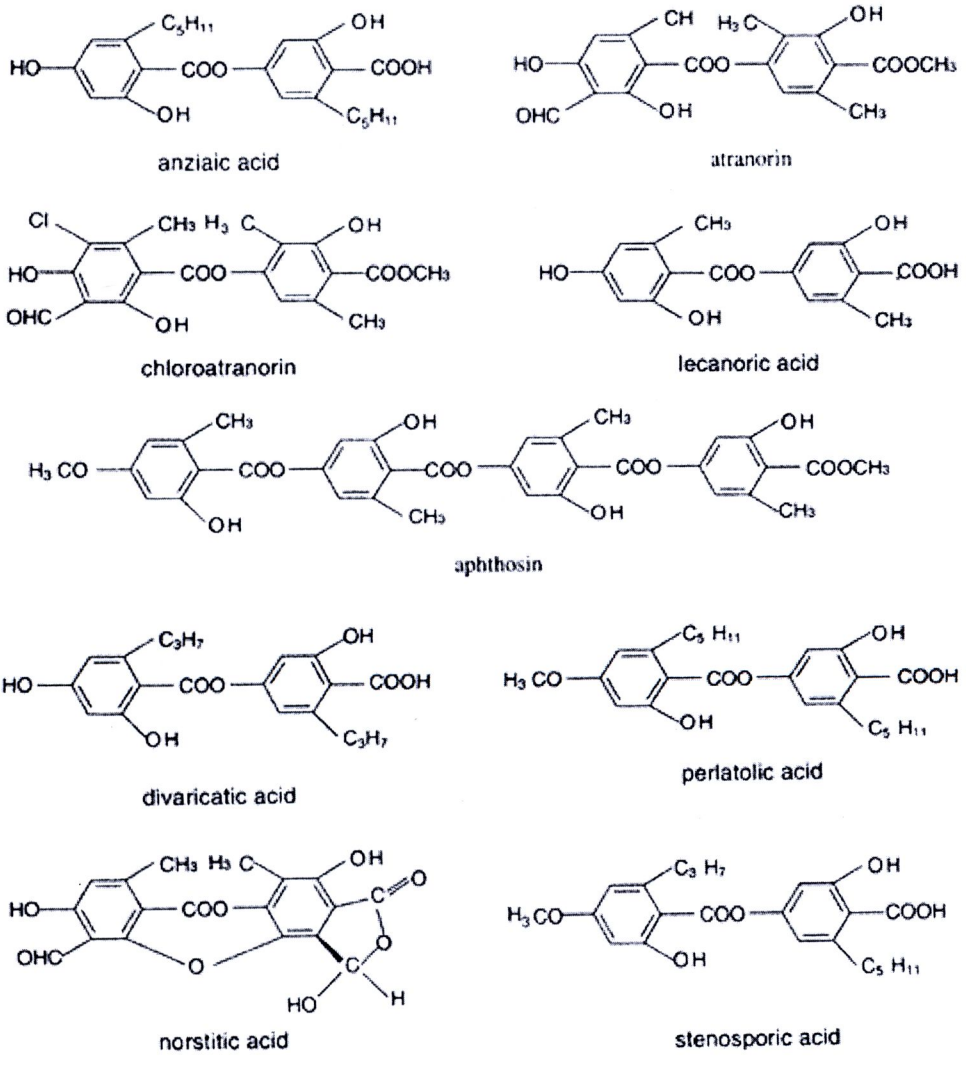
ตาราง 4 (ต่อ)

ชื่อสาร	ชนิดของไลเคน	การใช้ประโยชน์
	Anthraquinone	
Chiodectonic acid	*Herpothallon sanguineum*	Anti-mutagenic
Chrysophanol	*Acroscyphus sphaerophoroides*	Anti-mutagenic, aborteficient, dye
Emodin	*Nephroma laevigatum, Heterodermia*	Antioxidant, medicinal, DNA repair, tyrosine kinase inhibitor, anti-mutagenic
Parietin	*Xanthoria parietina,* many Others	Drug delivery, Photoprotection
Rugulosin	*Acroscyphus sphaerophoroides*	Antibiotic
Skyrin	*Acroscyphus sphaerophoroides*	Diabetes treatment
Solorinic acid	*Solorina crocea*	Antiviral, monoamine
	Diterpene	
(-)-16α-hydroxykaurane	*Ramalina ceruchis*	Immunosuppression, cytotoxic
	Triterpene	
Retigeranic acid	*Lobaria subretigera*	Antimicrobial
Triterpene C	*Lobaria* spp.	Antiviral, antimicrobial
Triterpene D	*Lobaria* spp.	Antiviral, antimicrobial
Triterpene N-1	*Parmelia entotheiochroa*	Antiviral
	Pulvinic acids	
Calycin	*Sticta spp., Lecidea lucida,* Many others	Hair and skin care
Vulpinic acid	Many spp.	Anti-herbivory

ตาราง 4 (ต่อ)

ชื่อสาร	ชนิดของไลเคน	การใช้ประโยชน์
	Sterols	
Ergosterol	Many spp.	Medicinal
Sitosterol	*Lecanora dispersa*	Cosmetic, dermatology, food additive
	Terphenylquinone	
Polyporic acid	*Sticta coronata*	Antileukemic, antitumor, antibacterial
Thelephoric acid	*Lobaria* spp.	Endopeptidase inhibitor, lipid peroxidation inhibitor
	Dibenzopyranone	
Entothein	*Parmelia auralenta*	Bactericidal, anticancer

ที่มา. จาก *Advances in Microbial Toxin Research and its Biotechnological Exploration* (p. 151-169) by J. Romagni, 2002, New York: Kluwer Academic/Plenum Publisher.



ภาพ 2 โครงสร้างสารทุติยภูมิจากไลเคน (lichen substances)

ที่มา. จาก "Lichens as a potential natural source of bioactive compounds" by Shukla et al., 2010, *Phytochemistry Review, 9*, p. 305.

สารทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่ไลเคนผลิตขึ้นมาทั้งหมดสร้างจากรา ในสภาพธรรมชาติไลเคนจะผลิตสารทุติยภูมิออกมาเพื่อป้องกันแสงแดดให้กับสาหร่าย (Fahselt, 1994) ป้องกันราที่เป็นปรสิต ป้องกันตัวจากการถูกแมลงกินและสัตว์อื่น ๆ (Emmerichet et al, 1993) สารทุติยภูมิจะถูกสร้างจากภายในเซลล์ แต่จะถูกส่งออกมาเก็บสะสมไว้บริเวณผิวนอกของเส้นใยมากกว่าที่จะเก็บไว้ในเซลล์เอง สารทุติยภูมิส่วนใหญ่จะเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำและต้องอาศัยสารละลายอินทรีย์ในการสกัด (Elix &

Stocker-Wörgötter, 2008; Romagni & Dayan, 2002) โดยสารทุติยภูมิที่พบโครงสร้างแล้วมีมากกว่า 800 ชนิด (Dembitsky & Tolsikov, 2005; Huneck and Yoshimura, 1996; Huneck, 1999) สารทุติยภูมิเกิดจากการสร้างของราและราที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการนั้นมีทั้งที่สร้างสารทั้งที่เหมือนและแตกต่างไปจากที่พบในไลเคนธรรมชาติ (Stocker-Wörgötter, 2001) ในขณะที่สาหร่ายจะสร้างสารปฐมภูมิ (primary metabolites) ซึ่งเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Mosbach, 1969) โดยสารทุติยภูมิส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นสารที่พบได้เฉพาะในไลเคนเท่านั้น มีเพียงส่วนน้อยประมาณ 50-60 ชนิด ที่พบเหมือนกับในพืชชั้นสูงหรือราชนิดอื่น ๆ (Culberson, 1969; Elix, 1996; Elix & Stocker-Wörgötter, 2008) ตัวอย่างเช่น anthraquinone และ parietin เป็นรงควัตถุสีส้มที่พบได้ในไลเคนวงศ์ Teloschistales และยังสามารถพบได้ในราสกุลอื่นๆ เช่น *Aspergillus* และ *Penicillium* รวมทั้งในพืชหลายชนิด เช่น *Rheum, Rumax* และ *Ventilago* (Romagni & Dayan, 2002)

สารทุติยภูมิของราที่ก่อให้เกิดไลเคน

สารทุติยภูมิที่ราผลิตขึ้นจะมีความแตกต่างไปขึ้นอยู่กับลักษณะความสัมพันธ์ของรากับสาหร่าย ได้แก่ (1) ลักษณะความสัมพันธ์แบบไลเคนในสภาพธรรมชาติ (2) ลักษณะความสัมพันธ์แบบไลเคนที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการ หรือ (3) ราที่ก่อให้เกิดไลเคนที่แยกมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ (Ahmadjian, 1993) จากกรณีตัวอย่างไลเคน *Cladonia cristatella* ในสภาพในธรรมชาติจะผลิตสาร usnic, barbatic และ didymic acids ขณะที่ไลเคนที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการจะผลิต barbatic, didymic และ usnic acids ในปริมาณน้อย (Bastian, 1984; Culberson et al, 1983; Huovinen et al, 1989) และในการเลี้ยงราที่ก่อให้เกิดไลเคนของ *C. cristatella* ในห้องปฏิบัติการพบว่าบางครั้งผลิตเฉพาะ didymic acids (Ahmadjian & Jacobs, 1983)

การสร้างสารทุติยภูมิของราที่ก่อให้เกิดไลเคนในห้องปฏิบัติการขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารอาหารในอาหารเลี้ยงเชื้อและปัจจัยทางกายภาพเช่น อุณหภูมิ,

ออกซิเจน, ความแห้ง และ รังสีอัลตราไวโอเลต (Hamada, 1996; Stocker-Wörgötter & Elix, 2002; Yamamoto, Kinoshita & Fujita, 1998)

Hamada (1996) ได้ผลึกของ usnic acid จำนวนมากจากการเลี้ยงราที่ก่อให้เกิดไลเคน *Lecanora pulverulenta* ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการเติมซูโครสและ Hamada, Tanahashi, Miyagawa, and Miyawaki (2001) พบสารแซนโทนจากการเลี้ยงราที่ก่อให้เกิดไลเคน *Pyrenula pseudobufonia*

Stocker-Wörgötter, Hager and Elix, (2009) ศึกษาถึงการสร้างสาร anthraquinones และ depsidesในราที่ก่อให้เกิดไลเคนสกุล Haematomma ที่ได้จากการตอบสนองต่อความเครียดและความต้องการสารอาหาร

ตาราง 5

สารทุติยภูมิที่ผลิตขึ้นจากราที่ก่อให้เกิดไลเคน

Metabolite	Mycobiont (MY) (my) or Tissue Culture (TC) (tc)	Reference
Aliphatics		
Graphenone	*Graphis scripta [MY]*	(Miyagawa *et al* 1994)
Roccellic acid	*Lecanora rupicola [MY]*	(Fox & Huneck 1969)
Zeorin	*Anaptychia hypoleuca [MY]*	(Ejiri & Shibata 1974)
Anthraquinone		
Bellidiflorin	*Cladonia graciliformis [my]*	(Ejiri *et al* 1975)
	Cladonia bellidiflora [my]	(Ejiri *et al* 1975)
7-Chloroemodin Emodin	*Caloplaca ferruginea [MY]*	(Renner & Gerstner 1978)
Emodin	*Caloplaca sp. [my]*	(Nakano *et al* 1972)
	Usnea diffracta [my]	(Yamamoto *et al* 1998)

ตาราง 5 (ต่อ)

Metabolite	Mycobiont (MY) (my) or Tissue Culture (TC) (tc)	Reference
	Xanthoria fallax [MY]	(Nakano *et al* 1972)
Erythroglaucin	*Xanthoria mandschurica [MY]*	(Nakano *et al* 1972)
Fallacinal	*Xanthoria fallax [MY]*	(Nakano *et al* 1972)
Fallacinol	*Xanthoria fallax [MY]*	(Nakano *et al* 1972)
Fragilin	*Caloplaca sp. [MY]*	(Nakano *et al* 1972)
Graciliformin	*Cladonia hellidiflora [my]*	(Ejiri *et al* 1975)
	Cladonia graciliformis [my]	(Ejiri *et al* 1975)
Parietin	*Caloplaca sp. [MY]*	(Nakano *et al* 1972)
	Usnea diffracta [my]	(Yamamoto *et al* 1998)
	Xanthoria calcicola [MY]	(Honegger & Kutasi 1990)
	Xanthoria elegans [MY]	(Honegger & Kutasi 1990; Yoshimura *et al* 1994)
	Xanthoria fallax [MY]	(Nakano *et al* 1972; Yoshimura *et al.* 1994)
	Xanthoria mandschurica [MY]	(Nakano *et al* 1972; Yoshimura *et al* 1994)
	Xanthoria mawsoni [MY]	(Yoshimura *et al* 1994)
	Xanthoria parietina [MY]	(Honegger & Kutasi 1990)
Skyrin	*Cladonia bellidiflora [my]*	(Ejiri *et al* 1975)
	Cladonia graciliformis [my]	(Ejiri *et al* 1975)

ตาราง 5 (ต่อ)

Metabolite	Mycobiont (MY) (my) or Tissue Culture (TC) (tc)	Reference
Chromones		
Eugentin	*Lecanora rupicola [MY]*	(Fox & Huneck 1969)
Eugentiol	*Lecanora rupicola [MY]*	(Fox & Huneck 1969)
5-Hydroxy-2,3-dimethyl-7-thoxychromone	*Graphis scripta [MY]*	(Takenaka *et al* 2000)
5-Hydroxy-3-hydroxymetyl-2-methyl-7-methoxychromone	*Graphis scripta [MY]*	(Takenaka *et al* 2000)
5-Hydroxy-2-hydroxymetyl-3-methyl-7-methoxychromone	*Graphis scripta [MY]*	(Takenaka *et al* 2000)
Rupicolon	*Lecanora rupicola [MY]*	(Fox & Huneck 1969)
Coumarins		
8-O-methyldichorodiaportin	*Graphis* sp. *[MY]*	(Tanahashi *et al* 2000)
6,8-Di-O-methylcitreoisocoumarin	*Graphis* sp. *[MY]*	(Tanahashi *et al* 2000)
Depsides		
Atranorin	*Usnea hirta [MY]*	
	Lecanora bicincta [MY]	(Hamada *et al* 1997)
Baeomycesic acid	*Flavocetraria nivalis [MY]*	(Yoshimura *et al* 1994)
Barbatic acid	*Acarospora fuscata [my]*	(Yamamoto *et al* 1996)
Decarboxystenosporic acid	*Usnea diffracta [my]*	(Yamamoto *et al* 1998)
Gyrophoric acid	*Rhizocarpon eupertraeum [MY]*	(Hamada et al 1997)

ตาราง 5 (ต่อ)

Metabolite	Mycobiont (MY) (my) or Tissue Culture (TC) (tc)	Reference
Lecanoric acid	*Stereocaulon curtatum [MY]*	(Hamada & Ueno 1990)
Norbarbatic acid	*Ramalina siliquosa [MY]*	(Hamada & Ueno 1987)
	Ramalina subcomplanata [MY]	(Hamada 1988)
	Ramalina subbreviuscula [MY]	(Hamada 1988)
Norsphaerophorin	*Cladonia grayi [MY]*	(Culberson & Armaleo 1992)
Squamatic acid	*Flavocetraria nivalis [MY]*	(Yoshimura *et al* 1994)
	Cladonia cnspata [MY]	(Ejiri & Shibata 1975)
Depsidone		
Confluentic acid	*Lecidea tessellata [MY]*	(Hamada *et al* 1997)
Dechloropannarin	*Lecanora dispersa [MY&my]*	(Leuckert *et al* 1990)
Grayanic acid	*Cladonia grayi [MY]*	(Culberson & Armaleo 1992)
Norgrayanic acid	*Cladonia grayi [MY]*	(Culberson & Armaleo 1992)
Norstictic acid	*Protoparmelia cupreobadia [MY]*	
Pannarin	*Lecanora dispersa [MY]*	(Leuckert *et al* 1990)
Protocetraric acid	*Usnea flexilis [MY&TC]*	(Yoshimura *et al* 1989)
Salazinic acid	*Ramalina crassa [MY]*	(Komiya *et al* 1969)
Dibenzofurans		
Didymic acid	*Cladonia cristatella [MY]*	(Castle & Kubsch 1949)
	Cladonia cristatella [MY & TC]	(Culberson & Ahmadjian 1980)
Hyposterpsilalic acid	*Stereocaulon japonicum [MY]*	(Miyagawa et al 1997)

ตาราง 5 (ต่อ)

Metabolite	Mycobiont (MY) (my) or Tissue Culture (TC) (tc)	Reference
Hypostrepsilic acid	*Evernia esorediosa [MY]*	(Miyagawa *et al* 1993)
	Usnea orientalis [MY]	(Kon *et al* 1997)
Isostrepsilic acid	*Usnea orientalis [MY]*	(Kon *et al* 1997)
Usnic acid	*Cetraria islandica [MY]*	(Yoshimura *et al* 1994)
	Cladonia cristatella [MY]	(Castle & Kubsch 1949)
	Evernia prunastri [MY]	(Yoshimura *et al* 1994)
	Pseudephebe pubescens [MY]	(Yoshimura *et al* 1994)
	Ramalina crassa [MY]	(Komiya & Shibata 1969)
	Ramalina duriaei [MY]	(Yoshimura *et al* 1994)
	Ramalina siliquosa [MY]	(Hamada 1991)
	Ramalina subbreviuscula [MY]	(Yoshimura *et al* 1994)
	Ramalina yasudae [MY]	(Komiya & Shibata 1969)
	Ramalina yasudae [TC]	(Yamamoto *et al* 1985)
	Usnea filipendula [MY]	(Yoshimura *et al* 1994)
	Usnea flexilis [MY&TC]	(Yoshimura *et al* 1989)
	Usnea hirta [MY&TC]	(Kinoshita *et al* 1993)
	Usnea montis-fuji [MY]	(Yoshimura *et al* 1994)
	Usnea mutabilis [MY]	(Hamada et al 1997)
	Usnea orientalis [MY&TC]	(Kon et al 1993)
	Usnea rubescens [TC]	(Yamamoto et al 1985)

ตาราง 5 (ต่อ)

Metabolite	Mycobiont (MY) (my) or Tissue Culture (TC) (tc)	Reference
Dibenzopyranoues		
Graphislactone A	*Graphis scripta pulverulenta [MY]*	(Tanahashi *et al* 1997)
Graphislactone B	*Graphis scripta pulverulenta [MY]*	(Tanahashi *et al* 1997)
Graphislactone C	*Graphis scripta pulverulenta [MY]*	(Tanahashi *et al* 1997)
Furanoquinones		
Graphisquinone	*Graphis desquamescens [MY]*	(Miyagawa *et al* 1994)
Naphthoquinones		
Cristazarin	*Cladonia cristatella [MY&my]*	(Yamamoto *et al* 1996)
6-Methylcristazarin	*Cladonia cristatella [MY&my]*	(Yamamoto *et al* 1996)
5,7-Dihydroxy-6-hydroxymethyl-2-methoxy-l ,4-naphthoquinone	*Opegrapha* sp. *[MY]*	(Amano *et al* 2000)
Pulvinics		
Calycin	*Candellariella vitellina*	(Mosbach 1967)
Pulvinic acid	*Candellariella vitellina*	(Mosbach 1967)
Vulpinic acid	*Candellariella vitellina*	(Mosbach 1967)

ที่มา. จาก "Studies on tropical mycobionts" by E. Sangvichien, 2005, Doctor of Philosophy Thesis. pp. 172-174.