เมลามีน (MELAMINE)

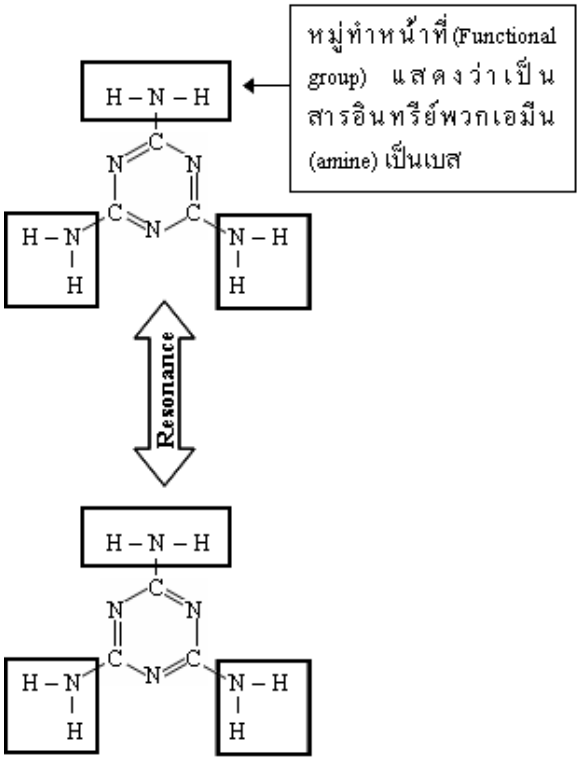
สุธน เสถียรยานนท์*

*สาขาวิชาเคมีและเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา 1061 ซอยอิสรภาพ 15 ถนนอิสรภาพ แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กทม. 10600

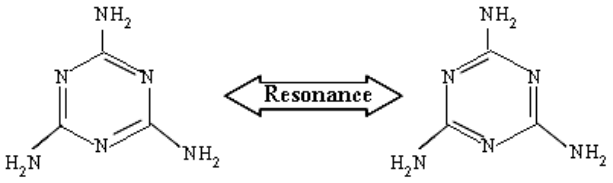
สารเคมีมีทั้งที่เป็นประโยชน์และเป็นโทษมนุษย์ที่มีคุณธรรมและจริยธรรมที่ประเสริฐจะนำสารเคมีมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อมนุษย์และพัฒนาประเทศชาติ ตลอดจนนำรายได้เข้าประเทศอย่างมหาศาล แต่ปัจจุบันนี้มนุษย์ขาดคุณธรรมและจริยธรรมอย่างมาก พยายามแข่งขันกันทำความชั่วมากกว่าความดี จึงทำให้เกิดปัญหาในการนำสารเคมีที่เป็นอันตรายมาใช้ การเรียนรู้สมบัติของสารเคมีควรเน้นมาตั้งแต่นักเรียนชั้นประถมศึกษาไม่ใช่มาเรียนรู้ตอนศึกษาอยู่ในสถาบันอุดมศึกษาและควรเน้นการปฏิบัติมากกว่าทฤษฎี ซึ่งปัจจุบันการเรียนการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์จะเน้นเนื้อหาทฤษฎีมากกว่าการปฏิบัติทดลอง ทำให้ผู้เรียนเกิดการเบื่อหน่ายต่อการเรียนวิทยาศาสตร์ จึงทำให้นักเรียนมาเรียนทางวิทยาศาสตร์น้อยลง แล้วประเทศชาติจะพัฒนาไปได้อย่างไร บทความนี้ต้องการให้เรียนรู้เรื่องสารเมลามีน และเข้าใจสารเมลามีนมากขึ้น ดังจะเห็นว่าสารนี้เป็นข่าวไปทั่วโลก โดยเฉพาะปัญหาเรื่องการเจือสารเมลามีนในนมผง และจะได้รู้ว่าอันตรายจากสารเมลามีนเป็นอย่างไร มีการสังเคราะห์ได้อย่างไร และเป็นสารพอลิเมอร์ชนิดใด

เมลามีน คืออะไร

สูตรโครงสร้างของเมลามีนเป็นดังนี้



หรืออาจเขียนได้อีกแบบดังนี้



เมลามีนเป็นเบสอินทรีย์ มีสูตรโมเลกุลคือ $C_3H_6N_6$ และสูตรเอมพิริกัลคือ CH_2N_2 มีมวลโมเลกุลหรือมวลต่อหนึ่งโมลเท่ากับ 126.12 กรัมต่อโมล ลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็งสีขาว

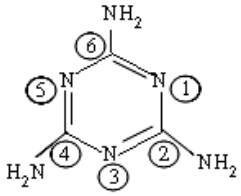
ความหนาแน่น : 1574 $kg.m^{-3}$

จุดหลอมเหลว : 350 °C , 623 K , 662 °F

จุดเดือด : ระเหิด (sublimes)

ความสามารถในการละลายน้ำ : 3.1 กรัมต่อลิตร ที่ 20 °C

ดังนั้นเมลามีนจึงเป็นสารที่ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย



เมลามีน มีชื่อสากลตามระบบ IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) คือ 1,3,5-Triazine-2,4,6-triamine นอกจากนี้ยังมีชื่ออื่นคือ 2,4,6-Triamino-s-triazine , Cyanurotriamide, Cyanurotriamine , Cyanuramide

สรุปสมบัติของเมลามีน ที่สำคัญได้ดังนี้

Melamine	
IUPAC name	1,3,5-Triazine-2,4,6-triamine
Other names	2,4,6-Triamino-s-triazine Cyanurotriamide Cyanurotriamine Cyanuramide
Identifiers	
CAS number	108-78-1
PubChem	7955
SMILES	[show]

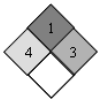
Properties	
Molecular formula	$C_3H_6N_6$
Molar mass	126.12 g/mol
Appearance	White solid
Density	1574 kg/m^3
Melting point	350 °C, 623 K, 662 °F
Boiling point	sublimes
Solubility in water	3.1 g/l (20 °C)

เมลามีนเป็นไทรเมอร์ (Trimer หรือสารประกอบที่เกิดจากโมเลกุล 3 โมเลกุลที่เหมือนกันแตกเป็นสามขา) ของไซยานาไมด์ (Cyanamide) เช่นเดียวกันกับไซยานาไมด์ เมลามีนประกอบด้วยไนโตรเจนร้อยละ 66 (โดยมวล) เป็นสารที่มีสมบัติหน่วงไฟ เมื่ออยู่ในรูปของเรซิน (Resin) ด้วยการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาเมื่อลุกไหม้หรือถูกเผา และมีการนำเอา Dicyandiamide หรือ Cyanoguanidine ที่เป็นไดเมอร์ (Dimer) ของไซยานาไมด์มาใช้เป็นสารหน่วงไฟเช่นกัน นอกจากนี้เมลามีนเป็นสารในกระบวนการสร้างและสลาย (Metabolism) ของไซโลมาซีน (Cyromazine) ซึ่งเป็นยาฆ่าแมลงชนิดหนึ่ง เป็นสารที่เกิดขึ้นในตัวของสัตว์เลือดอุ่นที่ย่อยไซโลมาซีน และมีรายงานด้วยเช่นกันว่าไซโลมาซีนเปลี่ยนเป็นเมลามีนในพืช หรืออาจกล่าวได้ว่าเมลามีนเป็นพลาสติกชนิดหนึ่งมีการใช้ร่วมกับฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) หรือชื่อ IUPAC คือ เมทานาล (Methanal) สูตรเคมีคือ HCOH เพื่อผลิตเมลามีนเรซิน (Melamine resin) ซึ่งเป็นพลาสติกชนิดหมาดตัวด้วยความร้อน หรือพลาสติกเทอร์โมเซต (Thermosetting plastic) ที่ทนทานมากชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่เมลามีนจะถูกนำมาผลิตพลาสติก จานเมลามีน ถุงพลาสติก พลาสติก

การสังเคราะห์เมลามีน

เมลามีนถูกสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกใน ค.ศ. 1834 (พ.ศ. 2377) โดยนักเคมีชาวเยอรมัน ชื่อ Justus Von Liebig ได้ผลิตเมลามีนอย่างง่ายๆ โดยการเปลี่ยนแคลเซียมไซยานาไมด์ ($CaCN_2$) ให้เป็นเมลามีนด้วยวิธีการให้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว (จุดหลอมเหลว) ของ $CaCN_2$ ซึ่งแคลเซียมไซยานาไมด์เป็นสารประกอบของแคลเซียมที่ใช้ทำปุ๋ยถูกสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกใน ค.ศ. 1898 (พ.ศ. 2441) โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Adolph Frank และ Nikodem Caro โดยนำแคลเซียมคาร์ไบด์ (Calcium carbide) มาทำปฏิกิริยากับไนโตรเจน (N_2) ดังสมการ $CaC_2 + N_2 \rightarrow CaCN_2 + C$

ซึ่งสมบัติของ $CaCN_2$ ที่สำคัญเป็นดังนี้

Calcium Cyanamide	
IUPAC name	Calcium cyanamide
Other names	Cyanamide calcium salt, Lime Nitrogen UN 1403
Identifiers	
CAS number	156-62-7
EINECS number	205-861-8 (http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/index.php?
	GENRE=ECNO&ENTREE=205-861-8
RTECS number	GS6000000
SMILES	[show]
InChI	[show]
Properties	
Molecular formula	$CaCN_2$
Molar mass	80.11 $g.mol^{-1}$
Appearance	White solid (Often gray or black from impurities)
Density	2.29 $g.cm^{-3}$
Melting point	1300 °C
Boiling point	1150 °C (sublim.)
Solubility in water	Insoluble (decomp.)
Hazards	
Main hazards	Harmful (Xn)
NFPA 704	
R-phrases	R22, R37, R41
S-phrases	S22, S26, S36/37/39
Except where noted otherwise , data are given for materials in their standard state (at 25 °C , 100 kPa) Infobox references	

ประโยชน์ของ $CaCN_2$ ใช้ในการเกษตรคือทำปุ๋ย โดยให้ทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้แก๊สแอมโมเนียออกมาดังสมการ

$$CaCN_2 + 3H_2O \rightarrow 2NH_3 + CaCO_3$$

นอกจากนี้ยังใช้ผลิตโซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) ดังสมการ

$$CaCN_2 + Na_2CO_3 \rightarrow 2NaCN + CaO + O_2$$

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการผลิตเมลามีนในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนมากผลิตจากยูเรีย (NH_2-CO-NH_2 หรือ $(NH_2)_2CO$) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ประเภทเอไมด์ (Amide สูตรทั่วไปคือ R-CO-NH_2) ปฏิกิริยาการผลิตเมลามีนจากยูเรีย เป็นตามสมการดังนี้

$$\underset{\text{ยูเรีย}}{6(NH_2)_2CO} \rightarrow \underset{\text{เมลามีน}}{C_3H_6N_6} + 6NH_3 + 3CO_2$$

ปฏิกิริยาการผลิตเมลามีนจากยูเรียมี 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1

ยูเรียจะสลายตัวให้กรดไซยานิก (HCNO) และแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) ดังสมการ

$$6(NH_2)_2CO \rightarrow 6HCNO + 6NH_3$$

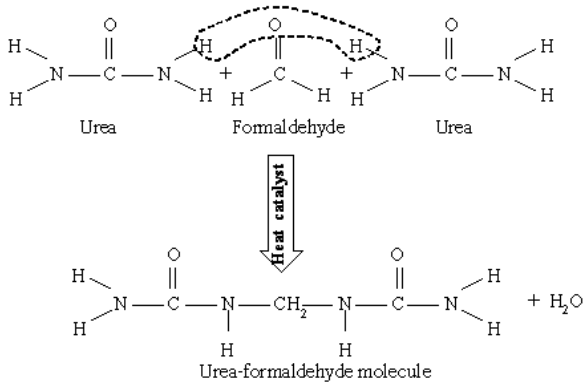
ขั้นที่ 2

พอลิเมอไร (Polymeries) กรดไซยานิกจะได้เมลามีน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

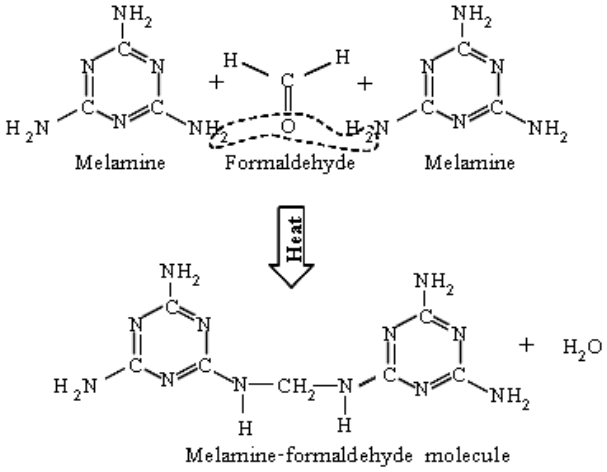
$$6HCNO \rightarrow C_3H_6N_6 + 3CO_2$$

ปฏิกิริยาในขั้นที่ 2 นี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) แต่ปฏิกิริยารวม (ขั้นที่ 1 + 2) จะเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

ยูเรียและเมลามีนสามารถทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ โดยเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerization) ได้ยูเรีย - ฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde) และน้ำเป็นผลพลอยได้ ซึ่งปฏิกิริยาการควบแน่นระหว่างยูเรียกับฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นดังนี้

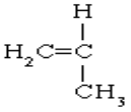
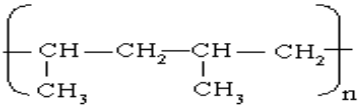
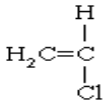
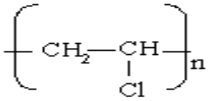
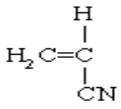
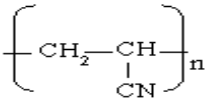
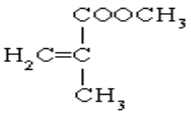
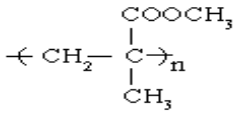
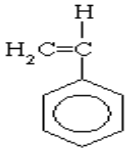
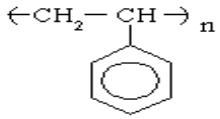
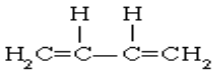
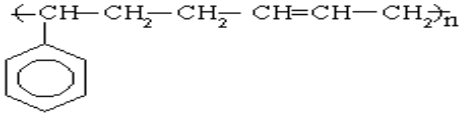


นอกจากนี้เมลามีนสามารถทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับฟอร์มาลดีไฮด์ โดยเกิดการควบแน่นได้เป็นเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์และน้ำ ดังนี้



หน่วยเล็กที่สุดของพอลิเมอร์คือ มอนอเมอร์ (Monomer) ดังตัวอย่าง

Some Monomers and Their Common Synthetic Polymers

Monomer		Polymer	
Formular	**Name**	**Name and Formular**	**Uses**
$H_2C=CH_2$	Ethylene	Polyethylene $-(CH_2-CH_2)_n-$	Plastic piping, bottles, electrical insulation, toys
	Propylene	Polypropylene 	Packaging film, carpets , crates for soft-drink bottles , lab wares, toys
	Vinyl chloride	Poly(vinyl chloride) (PVC) 	Piping, siding, gutters, floor tile, clothing, toys
	Acrylonitrile	Polyacrylonitrile (PAN) 	Carpets, knitwear
$F_2C=CF_2$	Tetrafluoro ethylene	Polytetrafluoroethylene (Teflon) $-(CF_2-CF_2)_n-$	Coating on cooking utensils, electrical insulation, bearings
	Methyl methacrylate	Poly(methyl methacrylate) (Plexiglas) 	Optical equipment, home furnishing
	Styrene	Polystyrene 	Containers,thremal insulation (ice buckets, water coolers), toys
	Butadiene	Polybutadiene 	Tire tread, coating resin
See above structures	Butadiene and styrene	Styrene-butadiene rubber (SBR) 	Synthetic rubber

ที่มา : (Chang & Cruickshank, 2005)

อันตรายจากสารเมลามีน

ความเป็นพิษของสารเมลามีนจะมีความเป็นพิษต่ำ ไม่มีพิษต่อสารพันธุกรรม และไม่เป็นสารก่อกลายพันธุ์ หากได้รับอย่างต่อเนื่องอาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินปัสสาวะเช่น ไต กระเพาะปัสสาวะ โดยสารเมลามีนจะไปรวมตัวกับสารเคมีอื่นเช่น Cyanuric acid ซึ่งอาจกลายเป็นก้อนนิ่วอุดตันในระบบทางเดินปัสสาวะ และมีโอกาสเสี่ยงในการเกิดมะเร็งหรือไตวายได้ ค่าความปลอดภัยของสารเมลามีนที่องค์การอนามัยโลกกำหนดไว้สำหรับเด็กทารกคือ 0.5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวของเด็กต่อการบริโภคหนึ่งวัน สำหรับผู้ใหญ่คือ 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน อย่างไรก็ตามการรับประทานอาหารที่มีเมลามีนแต่ไม่เกินค่าความปลอดภัยร่างกายสามารถขับเมลามีนออกมาเองได้

ประโยชน์ของเมลามีน

เมลามีนรวมกับฟอร์มาลดีไฮด์ทำเป็น Melamine resin ซึ่งเป็น Thermosetting plastic และ Melamine foam เป็นสารพอลิเมอร์ใช้สำหรับทำความสะอาด ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายของเมลามีนรวมถึงวัสดุบุผิวหน้าเคาน์เตอร์ กระดานขาวที่ลบได้ กาว เครื่องครัว และสารหน่วงไฟ เมลามีนเป็นส่วนประกอบหลักของสารสีเหลืองที่ใช้สำหรับทำหมึกพิมพ์และพลาสติก

การเลือกใช้ภาชนะเมลามีนที่มีเครื่องหมายมาตรฐานอุตสาหกรรมกำกับ ซึ่งได้รับการวิเคราะห์ทดสอบด้านความปลอดภัยเมื่อใช้บรรจุหรือสัมผัสกับอาหารรวมทั้งสมบัติทางกายภาพในการใช้งานตามปกติต้องไม่มีสารที่สกัดได้ใดๆ ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค และภาชนะต้องมีคุณภาพที่ผ่านตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดไว้คือเป็นการคุ้มครองผู้บริโภคในการใช้ผลิตภัณฑ์นั้นๆ ให้มากที่สุด เพราะอันตรายที่เกิดจากปริมาณสารที่สูงเกินมาตรฐาน ที่มาจากภาชนะเมลามีนซึ่งปนเปื้อนมากับอาหารมีอันตรายต่อร่างกายมาก ตัวอย่างเช่น ฟีนอล ฟอร์มาลดีไฮด์ และตะกั่ว เป็นต้น

สมบัติทางกายภาพของภาชนะเมลามีนต้องมีความทนกรดอ่อนๆ ได้เมื่อทดสอบแล้วต้องไม่มีจุดหรือรอยฝ้าขาวที่ผิวของภาชนะ ภาชนะเมลามีนต้องสามารถทนความร้อนและอุณหภูมิสูงๆ ได้ดีในช่วง 99-121 องศาเซลเซียส เมื่อทดสอบแล้วภาชนะเมลามีนต้องไม่แตก บิดเบี้ยว ร้าว หรือมีรอยตำหนิใดๆ ที่อาจเป็นผลเสียต่อการใช้งาน การดูดซึมน้ำของภาชนะเมลามีนต้องมีอัตราต่ำ เมื่อทดสอบแล้วการดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิห้องของภาชนะเมลามีนต้องไม่เกินร้อยละ 0.8 และการดูดซึมน้ำเดือดของภาชนะเมลามีนต้องไม่เกินร้อยละ 1.0 ภาชนะเมลามีนต้องมีความทนทานต่อแรงกระแทกได้เป็นอย่างดี เมื่อทดสอบแล้วภาชนะต้องไม่ร้าวหรือแตก

ภาชนะเมลามีนที่ได้รับการทดสอบแล้วต้องมีความทนกรดอ่อนๆ ได้เป็นอย่างดี จึงสามารถนำไปบรรจุอาหารที่มีรสเปรี้ยว ซึ่งมีส่วนประกอบของกรดแอซีติกได้ สามารถทนความร้อนและอุณหภูมิสูงๆ ได้ดี ทำให้ภาชนะเมลามีนมีรูปทรงคงตัวดีไม่แตก และบิดเบี้ยวได้ง่าย จึงเหมาะสมกับการนำไปบรรจุอาหารร้อนได้เป็นอย่างดี การดูดซึมน้ำของภาชนะเมลามีนที่ได้รับการทดสอบแล้วต้องมีอัตราต่ำ จึงเหมาะกับการนำไปบรรจุอาหารเหลวได้เป็นอย่างดี สมบัติการดูดซึมน้ำต่ำของภาชนะเมลามีนทำให้ภาชนะเมลามีนมีสภาพการเป็นฉนวนสูง ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าได้อีก

เมลามีนยังใช้ทำเมลามีนพอลิ-ซัลโฟเนต (Melamine poly-sulfonate) ซึ่งใช้เป็น Superplasticizer ผสมคอนกรีตทนแรงกระแทกสูง นอกจากนี้ ซัลโฟเนตเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (SMF ย่อมาจาก Sulfonated melamine formaldehyde) เป็นพอลิเมอร์ใช้ผสมซีเมนต์ (Cement admixture) เพื่อลดปริมาณน้ำในคอนกรีต และยังช่วยเพิ่มการลื่นไหลของคอนกรีตในขณะทำการผสมและเท มีผลทำให้คอนกรีตมีความพรุนน้อยลง และแข็งแรงมากขึ้น สามารถต้านทานสภาพความรุนแรงต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมรวมทั้งการทำให้คอนกรีตมีอายุการใช้งานนานมากขึ้น

ในช่วงปี พ.ศ. 2495 ถึง พ.ศ. 2510 เคยใช้เมลามีนทำเป็นปุ๋ยของพืช เนื่องจากเมลามีนมีส่วนประกอบของไนโตรเจนสูงมาก (ธาตุปุ๋ยของพืช คือ N-P-K) แต่ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (Hydrolysis reactions) ของเมลามีนจะให้ไนโตรเจนในดินช้ามาก ส่งผลทำให้การใช้เมลามีนทำเป็นปุ๋ยอย่างกว้างขวางจึงหมดไป

อนุพันธ์เมลามีน (Melamine derivatives) ที่ผสมในยาประเภทสารหนู (Arsenical drugs) พบว่ามีศักยภาพสูงในการรักษาโรคไทรแพโนโซเมียซิส (Trypanosomiasis) ในแอฟริกา

เมลามีนที่ใช้เป็นไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (Non-protein nitrogen ย่อคือ NPN) สำหรับปศุสัตว์เคยมีการจดทะเบียนลิขสิทธิ์ไว้เมื่อ ค.ศ. 1958 (พ.ศ. 2501) อย่างไรก็ตามผลการศึกษาเมื่อ ค.ศ. 1978 (พ.ศ. 2521) พบว่าเมลามีน “อาจยอมรับไม่ได้ว่าไนโตรเจนที่ไม่ได้มาจากโปรตีนเหมาะสำหรับสัตว์ประเภทเคี้ยวเอื้อง” เพราะปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสโดยน้ำในปศุสัตว์ช้าและสมบูรณ์น้อยกว่าโปรตีนจากแหล่งอื่นๆ เช่น อาหารสัตว์จากเมล็ดฝ้าย (Cottonseed meal) และยูเรีย

ในบางครั้งมีการเติมเมลามีนในการผลิตภัณฑ์อาหารอย่างผิดกฎหมาย เนื่องจากการที่มันช่วยให้เห็นว่ามีส่วนประกอบของโปรตีนสูงได้อย่างชัดเจน การทดสอบโปรตีนมาตรฐานอาจใช้กรรมวิธี Kjeldahl และกรรมวิธี Dumas ใช้วิธีประมาณระดับโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยการวัดปริมาณไนโตรเจนซึ่งอาจนำไปสู่การลักลอบเติมเมลามีนได้

บทสรุป

จะเห็นว่าสารเมลามีนมีทั้งเป็นประโยชน์และโทษ ซึ่งจะต้องนำคุณสมบัติของสารเคมีที่เป็นประโยชน์มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด อันจะทำให้มนุษยชาติมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น ตลอดจนนำรายได้เข้าสู่ประทศชาติได้อย่างมหาศาล แต่ถ้ามนุษย์ขาดคุณธรรมและจริยธรรม นำสารเคมีมาใช้ทำให้เกิดโทษแก่มนุษย์ อย่างเช่นทุกวันนี้ก็จะเป็นอันตรายต่อประเทศชาติและชาวโลกอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

Chang, R. & Cruickshank, B. (2005). **Chemistry** (8th ed.). New York : McGraw-Hill.

Lipschitz, W.L. & Stokey, E. (1945). The mode of action of three new diuretics melamine, adenine and formoguanamine. **Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics** 83(4) : 235-249.

Newton, G.L. & Utley, P.R. (1978). Melamine as a dietary nitrogen sourse for ruminants. **Journal of Animal Science** 47 : 1338-44.

William F. Smith, (1996). **Principles of Materials Science and Engineering** (3rd ed.). New York : Mcgraw-Hill.