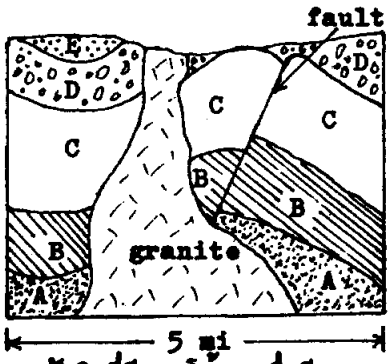
บทที่ 8
ธรณีวิทยาประวัติ
(Historical Geology)

ธรณีวิทยาประวัติเป็นการเรียงลำดับของเหตุการณ์ที่ผ่านมาในอดีตนับตั้งแต่โลกได้กำเนิดขึ้นมาจนถึงในยุคปัจจุบัน เพราะเหตุการณ์ที่ผ่านมาแล้วนี้จะเหลือทิ้งไว้เป็นหลักฐานบนโลกทำให้เราศึกษาได้ เชื่อกันว่าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในปัจจุบันและลักษณะต่างๆที่เป็นผลจากเหตุการณ์เหล่านี้ ในอดีตก็จะเกิดเหตุการณ์และผลเหล่านี้เหมือนกันโดยที่ว่าเหตุการณ์เหล่านี้จะถูกบันทึกอยู่ในหิน จากหลักอันนี้เองทำให้นักธรณีวิทยาได้ทราบเรื่องราวของโลกได้อย่างดี ตัวอย่างเช่น ถ้าพบชั้นเกลือหรือยิปซั่มภายใต้ผิวโลก เราก็ทราบได้ว่าครั้งหนึ่งในอดีตบริเวณนี้อาจเป็นทะเลมาก่อนหรือเป็นทะเลสาบ ต่อมามีภูมิอากาศร้อนแบบทะเลทรายทำให้เกิดการระเหยขึ้น และทิ้งส่วนประกอบของเกลือหรือยิปซั่มไว้

๑. <u>ระยะเวลาในชั้นหิน</u> (Dating Rock Formation)

เป็นการศึกษาการเรียงลำดับเหตุการณ์ของชั้นหิน โดยศึกษาจากหินที่โผล่ขึ้นมาหรือโครงสร้างของชั้นหินในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง และต่อมาก็หาความสัมพันธ์กันของแต่ละบริเวณเพื่อหาความต่อเนื่องกันมากขึ้น จากการศึกษานี้ทำให้เราทราบว่าชั้นหินใดเกิดขึ้นก่อน ชั้นหินใดเกิดขึ้นหลังสุด นั่นคือเป็นการบอกอายุของชั้นหินแบบเปรียบเทียบ (Relative time)

ตัวอย่างการศึกษาการเรียงลำดับเหตุการณ์ของชั้นหินแต่ละบริเวณจากรูปที่ ๘.๑



รูปที่ ๘.๑ แสดงชั้นหินที่มีการโค้งงอซึ่งมีการเคลื่อนที่ตามแนว fault และต่อมามีการแทรกขึ้นมาของ granite.

สามารถเรียงลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาได้ดังนี้

๑. ลำดับของหินชั้น ชั้นล่างสุดจะมีอายุแก่สุดและชั้นบนสุดจะมีอายุอ่อนสุด ในรูปที่ ๘.๑ ชั้น A จะมีการสะสมตัวและเกิดขึ้นก่อนหินชั้นอื่นๆ และชั้น E จะเกิดที่หลังสุด กฎนี้จะเป็นจริงถ้าชั้นหินไม่ถูกกระทำให้ผลิกกลับ

๒. ชั้นหินในระยะแรกที่เริ่มตกสะสมกันเป็นหินชั้นจะวางตัวอยู่ในแนวเกือบระนาบเสมอ

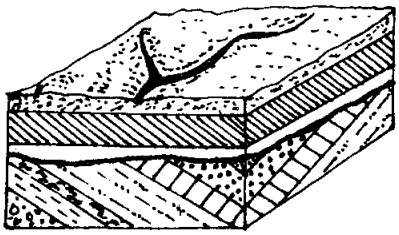
๓. การเคลื่อนไหวอย่างรุนแรงจะเกิดขึ้นภายหลังที่มีการสะสมของหินชั้น ในรูปที่ ๘.๑ ภายหลังที่ชั้น D เกิดขึ้นแล้ว ชั้นหินทั้งหมดจะเกิดการโค้งงอและ fault ที่เกิดขึ้นจะมีอายุน้อยกว่าชั้น C

๔. หินอัคนีพวกหิน granite ที่แทรกขึ้นมาโดยตัดผ่านชั้นของหินชั้นจะมีอายุน้อยที่สุด ในรูปที่ ๘.๑ หิน granite จะมีอายุน้อยกว่าชั้นหิน D

Unconformities

Unconformity คือพื้นผิวที่เกิดจากความไม่ต่อเนื่องกันทางธรณีวิทยา ซึ่งจัดเป็นโครงสร้างทางธรณีวิทยาอย่างหนึ่ง (ดูบทที่ ๗ หน้าที่ ๑๒๐)

จากรูปที่ ๘.๒ unconformity จะบอกลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาอย่างน้อยที่สุด ๔ อย่างคือ



รูปที่ ๘.๒ แสดง angular unconformity

๑. มีการสะสมของชั้นหินที่มีอายุแก่สุด

๒. มีการเคลื่อนไหวอย่างรุนแรง ทำให้ชั้นหินบริเวณนั้นยกตัวขึ้นและบางทีเอียงเทเท่านั้น

๓. เกิดการกัดเซาะชั้นหินที่ตั้งขึ้น ทำให้เกิดพื้นที่ผิวที่ขรุขระ

๔. เป็นระยะเวลาที่มีการสะสมตัวใหม่ของชั้นหินบนพื้นผิวที่มีการกัดเซาะ

ประโยชน์ของ unconformity ในการศึกษาธรณีวิทยาประวัติ

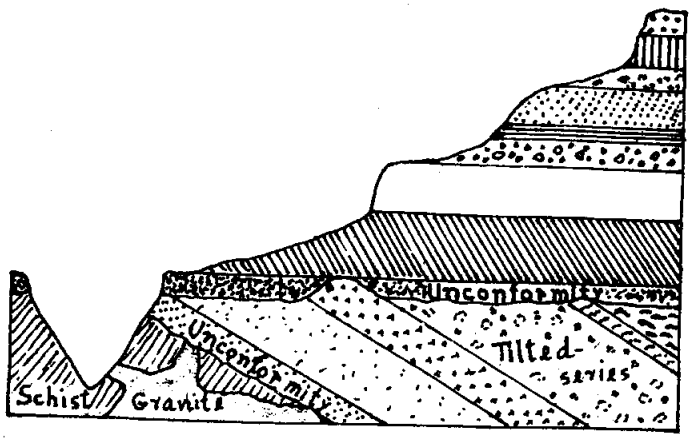
๑. บอกให้ทราบถึงระยะเวลาอย่างประมาณของเหตุการณ์ที่เปลือกโลกมีการเคลื่อนไหวอย่างรุนแรง เช่นจะต้องมีเหตุการณ์เกิดขึ้นภายหลังที่มีการสะสมชั้นหินชั้นบนสุดของหินชุดแรก หรือก่อนชั้นหินล่างสุดของชุดบนจะตกสะสม

๒. Unconformity บอกให้เราทราบบางอย่างเกี่ยวกับการกระจายของแผ่นดินและทะเลในระยะเวลาที่แตกต่างกันในอดีต เช่นช่วงเวลาที่เกิด unconformity แผ่นดินจะแห้งและการกัดเซาะเกิดขึ้น

๓. ทำให้เราทราบช่วงเวลาที่หายไป เพราะไม่มีการสะสมเกิดขึ้นในบริเวณนั้น

๔. บริเวณที่มี unconformity อยู่เหนือระดับน้ำทะเล

บริเวณที่มีการศึกษาเกี่ยวกับธรณีวิทยาประวัติกันมากคือ The Grand Canyon ใน Arizona สหรัฐอเมริกา ซึ่งมีแม่น้ำ Colorado ตัดผ่าน ลักษณะสำคัญๆที่สามารถมองเห็นจากหินใน canyon ดูรูปที่ ๔.๓ ส่วนบนจะเป็นชั้นหินเนื้อแน่นวางตัวในแนวราบทำให้ลักษณะภูมิประเทศเป็นหน้าผา หินมีสีมากมายหลายสีซึ่งทำให้ canyon นี้มีชื่อเสียงมาก บริเวณยอดของร่องหุบเขาลึกซึ่งเกิดจากแม่น้ำกัดเซาะเห็นหินชั้นล่างของชุดนี้จะวางตัวอยู่บนชั้นหินที่เอียงเท (tilted series) ซึ่งมีพื้นผิวที่ขรุขระแยกออกจากกัน หินชุดล่างสุดจะเป็นหิน schists และ gneisses สีเข้ม มีการโค้งงอ (folded) และแทรกตัวขึ้นมา (intruded) ของหิน granite สีเทาในลักษณะของ dike



รูปที่ ๔.๓ แสดงรูปด้านตัดของ Grand Canyon.

สรุปได้ว่า

๑. ในอดีตบริเวณ Grand Canyon จะเป็นเทือกเขา

๒. จะมี Unconformity ๒ ชนิดใน Grand Canyon

๓. ต่อมา Grand Canyon จะค่อยๆยกตัวสูงขึ้นเหนือระดับน้ำทะเลและถูกแม่น้ำ Colorado กัดเซาะจนเป็นหน้าผาชัน

๒. <u>เวลาธรณีวิทยา</u> (Geologic Time)

การศึกษาลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาในบริเวณต่างๆไม่เพียงพอ เราต้องการที่จะทราบว่าเหตุการณ์นั้นๆในแต่ละบริเวณเกิดขึ้นเวลาเดียวกันหรือเปล่า เป็นการยากที่จะศึกษาจากชั้นหิน เพราะว่าชั้นหินที่เกิดขึ้นมาจะถูกกัดเซาะยุบพังไปหรืออาจถูกทับถมเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการที่จะเรียงลำดับเหตุการณ์ทั่วไปในโลกมีอยู่ด้วยกัน ๒ วิธี คือ ศึกษาจากสารกัมมันตรังสี (radioactive dating) และการตรวจสอบซากดึกดำบรรพ์ (fossil identification)

๑. หาเวลาจากสารกัมมันตรังสี เนื่องจากสารกัมมันตรังสีมีอยู่ในหินและแร่ทั่วไป และคุณสมบัติของสารกัมมันตรังสีนี้เมื่อเกิดขึ้นมาแล้วจะสลายตัวทันทีได้เป็นสารใหม่ขึ้นมา เราเรียกสารที่เกิดจากการสลายตัวของกัมมันตรังสีนี้ว่า daughter

isotope และตัวสารกัมมันตรังสีว่า parent isotope สารกัมมันตรังสีมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ดูตารางที่ ๔.๑ และการสลายตัวของมันจะมีอัตราคงที่โดยที่สิ่งแวดล้อมจะไม่ทำให้มันเปลี่ยนไป การสลายตัวของมันจะลดปริมาณลงทีละครึ่งหนึ่งภายในเวลาอันจำกัด เวลาที่ใช้ไปในการทำให้ปริมาณลดลงครึ่งหนึ่งนี้เราเรียกว่า half life ซึ่งอธิบายได้ง่ายๆดังนี้ ถ้ามีสารกัมมันตรังสีอยู่ ๑ กิโลกรัม มี half life ๑ ล้านปี ฉนั้นเมื่อครบเวลาหนึ่งล้านปีสารนี้จะเหลืออยู่เพียง ๑/๒ กิโลกรัม และอีกหนึ่งล้านปีถัดมาจะเหลือเพียง ๑/๔ กิโลกรัม เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ไม่มีที่สิ้นสุด

เพราะฉนั้นจากอัตราส่วนระหว่าง parent isotope กับ daughter isotope ในตัวอย่างหิน และอัตราการสลายตัวที่คงที่ จะทำให้เราคำนวณอายุของหินออกมาได้ สัดส่วนของ daughter ถ้ามากก็แสดงว่าหินมีอายุมากด้วยเช่นกัน

ตารางที่ ๔.๑ แสดงสารกัมมันตรังสีที่ส่วนมากใช้คำนวณหาอายุของหินอัคนีและหินแปร

Parent isotope	Stable daughter isotope	Half-life, billion years
Potassium 40	Argon 40	1.3
Rubidium 87	Strontium 87	47
Uranium 235	Lead 207	0.7
Uranium 238	Lead 206	4.5

การหาอายุของหินที่มีซากของสิ่งมีชีวิตอยู่เราใช้วิธี Radiocarbon dating. Radiocarbon หมายถึง isotope carbon 14 ซึ่งมี half life ๕๖๐๐ ปี isotope carbon 14 นี้จะมีอยู่ทั่วไปในสิ่งมีชีวิต โดยที่มันเกิดขึ้นในบรรยากาศและใน CO_2 ก็มี carbon 14. พืชนำเอา CO_2 ไปใช้ในการดำรงชีวิตและสัตว์ก็กินพืชอีกต่อหนึ่ง ดังนั้นทั้งพืชและสัตว์จะมี carbon 14 อยู่ในตัว เมื่อทั้งพืชและสัตว์ตายลงไป carbon 14 เกิดการสลายตัว ส่วน carbon 12 ซึ่งมีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทั่วไปจะไม่เกิดการสลายตัวจะคงที่ ดังนั้นจากปริมาณของ carbon 14 และ carbon 12 เราสามารถคำนวณหาอายุของหินได้ ซึ่งโดยมากเป็นหินชั้นเพราะมีซากของสิ่งมีชีวิตอยู่มาก

๒. ซากดึกดำบรรพ์ (fossils) คือร่องรอยหรือสิ่งที่เหลือไว้ให้เห็นของสิ่งมีชีวิตในอดีตซึ่งถูกฝังอยู่ในหิน ส่วนมากเราใช้ซากดึกดำบรรพ์ในการเปรียบเทียบหินในแต่ละแห่งเพื่อจัดลำดับชั้นหินดูรูปที่ ๘.๔ ซากดึกดำบรรพ์มีประโยชน์มากในการศึกษาธรณีประวัติ เพราะว่าสิ่งมีชีวิตจะมีวิวัฒนาการอยู่ตลอดเวลา เราอาศัยหลักอันนี้ในการแบ่งแยกเวลาได้

จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดข้างต้น เราสามารถทำตารางเวลาทางธรณีขึ้นมาได้ ดูตารางที่ ๘.๒

๓. <u>เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในมหายุคต่างๆ</u>

ได้แก่ ๑. มหายุคพรีแคมเบรียน (Precambrian Time)

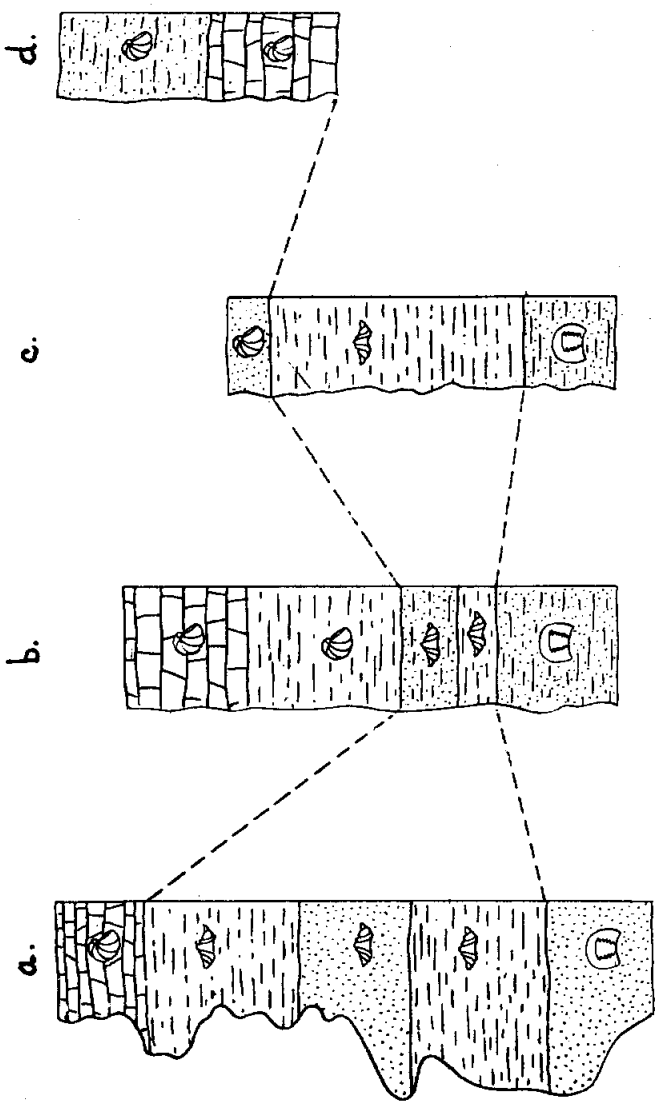
๒. มหายุคพาลีโอโซอิก (The Paleozoic Era)

๓. มหายุคมีโสโซอิก (The Mesozoic Era)

๔. มหายุคซีโนโซอิก (The Cenozoic Era)

ตั้งแต่โลกเกิดขึ้นมาจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นกับเปลือกโลกอยู่ด้วยกัน ๒ อย่างเท่านั้นคือ

๑. ลักษณะของเปลือกโลกเปลี่ยน เช่น การเกิดภูเขา การยุบตัว



รูปที่ ๔.๔ แสดงลำดับของชั้นหิน (a,b,c,d) ในแต่ละแหล่งซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ได้
โดยศึกษาจากซากดึกดำบรรพ์

ตารางที่ ๔.๒ แสดงตารางเวลาธรณีวิทยา (Geologic time)

Millions of years before the present.	Era	Period	Epoch	Duration in millions of years.
65	Cenozoic	Quaternary	Recent	0.01
			Pleistocene	2.5
225		Tertiary	Pliocene	4.5
			Miocene	19
570			Oligocene	12
			Eocene	16
			Paleocene	11
	Mesozoic	Cretaceous		71
		Jurassic		54
		Triassic		35
	Paleozoic	Permian		55
		Pennsylvanian	Carboniferous	45
		Mississippian		20
		Devonian		50
		Silurian		35
4,000		Ordovician		70
		Cambrian		70
4,500	Pre-cambrian time.	Late Precambrian		
		Early Precambrian		

หลายของหิน การเกิดหวีปลอย การละลายของธารน้ำแข็ง เป็นต้น

๒. การเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตซึ่งเป็นส่วนประกอบของโลก จากสิ่งมีชีวิตซึ่งเป็นเซลล์เดียวมีรูปร่างง่ายๆ จนมีวิวัฒนาการเป็นสัตว์หรือพืชที่สมบูรณ์เหมือนเห็นอยู่ในปัจจุบัน

(๑.)<u>มหายุคพรีแคมเบรียน</u> (๔๕๐๐ - ๕๗๐ ล้านปีที่ล่วงมาแล้ว)

โลกเกิดขึ้นมาเมื่อประมาณ ๔๕๐๐ ล้านปี หินที่เราพบบนเปลือกโลกอายุมากที่สุดเป็นหินไนส์ทางตะวันตกของกรีนแลนด์มีอายุ ๔๐๐๐ ล้านปี โดยใช้วิธีหาอายุแบบ radioisotope. นอกจากหินเหล่านี้แล้วยังมีหินอัคนีแทรกอยู่กับหินชั้นและหินแปรแสดงให้เห็นว่าในมหายุคนี้จะมีการกัดเซาะเกิดขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงจนโครงสร้างถูกทำลาย

หินในมหายุคพรีแคมเบรียนจะพบมากทางตะวันออกของประเทศคานาดาและบางส่วนของสหรัฐอเมริกาที่อยู่ใกล้ๆกันนี้ นอกจากนั้นหินในมหายุคนี้ก็กระจายเป็นแหล่งเล็กๆอยู่ทั่วไป เช่นบริเวณใจกลางของเทือกเขาซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงหลายครั้งหรือเทือกภูเขาเก่า

ซากดึกดำบรรพ์ (fossil) ในหินมหายุคพรีแคมเบรียนเกือบไม่มีเลย แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าในมหายุคนี้ไม่มีสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้น ในบางแห่งเราพบโครงสร้างบางอย่างซึ่งเป็นผลของ algae, sponges และ worms แสดงให้เห็นว่าเป็นสิ่งมีชีวิตโบราณ การที่ซากดึกดำบรรพ์มีน้อยเพราะว่าสัตว์ไม่มีเปลือกแข็ง นอกจากนี้ยังมีสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นมากในทะเลจากการที่หินปูนมีชั้นหนาเพราะหินปูนที่พบเกิดจากการทับถมของสิ่งมีชีวิตในทะเล และบางทีก็พบชั้นของ graphite ซึ่งเกิดจากการแปรสภาพมาจากชิ้นส่วนของสิ่งมีชีวิต

เหตุการณ์ต่างๆในมหายุคพรีแคมเบรียนยากในการศึกษาเพราะว่ามีซากดึกดำบรรพ์น้อย และในมหายุคนี้มีการแปรสภาพและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชั้นหินมาก นอกจากศึกษาการเปรียบเทียบส่วนประกอบของหิน อัตราความรุนแรงของการแปรสภาพและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชั้นหิน การแทรกตัวขึ้นมาของหินอัคนี

และในปัจจุบันศึกษาถึง radiometric age determinations แต่ก็เป็นการศึกษาอย่างกว้างๆเกี่ยวกับประวัติในมหายุคนี้เท่านั้น โดยที่ว่าในยุคต้นจะมีการสะสมตะกอนเป็นชั้นๆและสลับกับการกัดเซาะที่เกิดขึ้นและการสร้างภูเขา ในระยะต่อมาก็มีลาวาไหลออกมาแผ่ออกไปอย่างกว้างขวาง และเป็นยุคน้ำแข็ง ๒ ระยะ มหายุคนี้จะจบลงด้วยเกิดเหตุการณ์รุนแรง (diastrophic movement) ทั่วไป ทำให้แผ่นดินยกตัวสูงขึ้นและต่อมาเกิดการกัดเซาะเกิด unconformity ขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากหินพรีแคมเบรียนต่อกับหินในมหายุคพาลีโอโซอิก

สรุปมหายุคพรีแคมเบรียนได้ดังนี้

มหายุคพรีแคมเบรียน (Precambrian Time)

ระยะแรกของพรีแคมเบรียน (Early Precambrian)

(๔๕๐๐ - ๒๕๐๐ ล้านปี)

มีสาหร่ายทะเลซึ่งเป็นพืชเซลล์เดียว

มีการระเบิดของภูเขาไฟ (volcanism)

ระยะหลังของพรีแคมเบรียน (Late Precambrian)

(๒๕๐๐ - ๕๓๐ ล้านปี)

มีสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง ไม่มีเปลือกหุ้ม

มีการระเบิดของภูเขาไฟและมีชั้นน้ำแข็งปกคลุม

(๒.)มหายุคพาลีโอโซอิก (Paleozoic Era)

มหายุคพาลีโอโซอิกนี้มีหลักฐานแสดงให้เห็นมากกว่าในมหายุคพรีแคมเบรียน มีชั้นหินโผล่ให้เห็นรวมทั้งซากดึกดำบรรพ์ซึ่งทำให้ง่ายกับการเปรียบเทียบชั้นหินและเหตุการณ์ต่างๆจากที่แห่งหนึ่งกับที่อีกแห่งหนึ่ง

ระยะแรกของพาลีโอโซอิก (Early Paleozoic)

หินในมหายุคนี้จะพบทางเหนือของอเมริกา ส่วนทางตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหินยุคพรีแคมเบรียนซึ่งมีการกัดเซาะเกิดขึ้น ระยะนี้ในอเมริกาจะ

เกิดการยุบตัวลงของแผ่นดินเป็นแอ่งใหญ่ที่เรียก geosyncline ขึ้น ๒ อัน คือ Cordilleran และ Appalacian และมีน้ำทะเลท่วมเข้ามาทำให้มีการสะสมตะกอน ในทางตะวันตกเฉียงเหนือของยุโรปก็มี geosyncline เกิดขึ้นเช่นกัน น้ำทะเลที่ปกคลุมแผ่นดินอยู่ถึง ๒/๓ จะถอยร่นลงไปบ้าง และบางบริเวณจะมีการยกตัวของแผ่นดิน

ซากดึกดำบรรพ์ที่พบในช่วงนี้เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (invertebrates) แต่อาจจะมีเปลือกแข็งหุ้มลำตัวซึ่งเป็นสารพวกคาร์บอเนต ซิลิกา

ระยะหลังของพาลีโอโซอิก (Late Paleozoic)

ในระยะนี้จะมีการสะสมของตะกอนขนาดต่างๆตามที่ลุ่มและ geosyncline มีน้ำทะเลท่วมเข้ามาบ้างแต่ไม่มากเหมือนระยะแรก

การสะสมของตะกอนในลักษณะพิเศษเกิดขึ้นในยุค Mississippian และ Pennsylvanian คือมีการสะสมของตะกอนบนบก (non-marine) สลับกับตะกอนที่ได้จากทะเล (marine) โดยเฉพาะในยุค Pennsylvanian ตะกอนบนบกนั้นได้แก่ชั้นของถ่านหิน แสดงให้เห็นว่าในยุคนี้จะมีที่ลุ่มขนาดใหญ่และมีต้นไม้ขึ้นหนาแน่น เช่นบริเวณ Mississippian Valley และบริเวณ Appalachian จะมีชั้นถ่านหินสะสมกันอยู่หนามาก เนื่องจากว่ามีการสะสมของถ่านหินมากทั้งในสหรัฐอเมริกาและยุโรป จึงทำให้เขารวมยุค Mississippian และ Pennsylvanian เข้าด้วยกันเรียกใหม่ว่ายุค Carboniferous.

ภูมิอากาศอบอุ่นและคงที่ตลอดมาตั้งแต่ระยะแรกของมหายุคนี้จนกระทั่งถึงตอนกลางของยุค Permian. แต่ในตอนปลายของมหายุคนี้จะมีการยกตัวสูงขึ้นของแผ่นดินและเกิดเทือกเขา ภูมิอากาศจะเปลี่ยนไปตั้งแต่แห้งแล้งเป็นทะเลทรายจนถึงในบางแห่งจะมีชั้นน้ำแข็งเกิดขึ้นทั่วไปในโลก

ภูมิอากาศที่แห้งแล้งที่สุดคือในยุค Devonian และยุค Permian ทำให้เกลือ ยิปซั่มเกิดขึ้นทั่วไป

สรุปมหายุคพาลีโอโซอิกได้ดังนี้

มหายุคพาลีโอโซอิก (Paleozoic Era)

ยุคแคมเบรียน (Cambrian period) ๕๗๐-๕๐๐ล้านปี
มีสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังแต่มีเปลือกแข็งหุ้มลำตัว พบซากดึกดำบรรพ์เป็นครั้งแรก เช่น Trilobites.

ยุคออโดวิเชียน (Ordovician period)๕๐๐-๔๓๐ล้านปี
เริ่มมีสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังจำพวกที่มีลักษณะคล้ายปลา มีการเกิดภูเขาขึ้น

ยุคไซลูเรียน (Silurian period) ๔๓๐-๓๙๕ล้านปี
เป็นช่วงที่มีพืชบกเกิดขึ้นครั้งแรกและสัตว์ที่หายใจในอากาศเริ่มเกิดขึ้นในรูปของแมงป่อง (scorpion) ภูมิอากาศแห้งแล้ง

ยุคดีโวเนียน (Devonian period) ๓๙๕-๓๔๕ล้านปี
มีต้นไม้ใหญ่และสัตว์ครึ่งน้ำครึ่งบก (amphibians) เกิดขึ้นครั้งแรก พวกปลาพบมากขึ้น

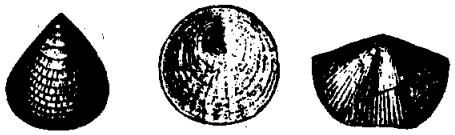
ยุคมิสซิสซิปเปียน (Mississippian period)
๓๔๕-๓๒๕ ล้านปี
สัตว์ครึ่งน้ำครึ่งบกเกิดขึ้นมาก ต้นไม้ใหญ่มีทั่วไปและมีวิวัฒนาการมากขึ้น และมีปลาฉลามเด่นไปหมด

ยุคเพ็นซิลวาเนียน (Pennsylvanian period)
๓๒๕-๒๙๐ ล้านปี
ต้นไม้ที่พบมากเป็นพวกไม่มีดอกอยู่ตามที่ลุ่มหนองบึง

ยุคเพอร์เมียน (Permian period) ๒๙๐-๒๒๕ ล้านปี
เริ่มต้นของสัตว์เลื้อยคลาน (reptiles) และแมลงพบมาก

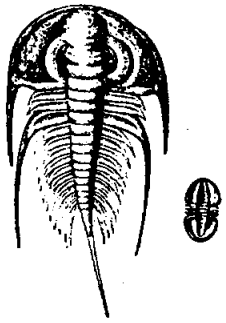
อากาศแห้งแล้ง เกิดภูเขา Appalachian ในอเมริกา และมีชั้นหินน้ำแข็งปกคลุมบางบริเวณ

จะเห็นว่าสิ่งมีชีวิตเริ่มแรกมีชีวิตอยู่ในทะเลก่อนทั้งพืชและสัตว์ ต่อมาเมื่อมีวิวัฒนาการมากขึ้น เราก็พบพืชและสัตว์อยู่บนบก และจะมีการสร้างโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าในระยะแรกๆ ดูรูปแสดงซากดึกดำบรรพ์ในมหายุคนี้บางตัวอย่างจากรูปที่ ๘.๙ (๑ ถึง ๑๘)



Cambrian brachiopods. (*After Walcott.*)

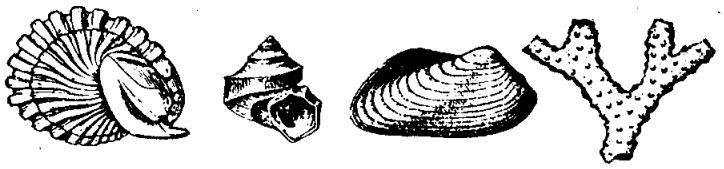
(๑)



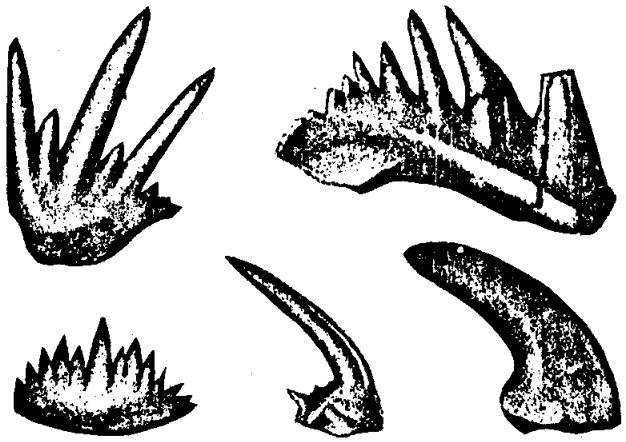
Cambrian trilobites. (*After Walcott.*)

(๒)

(a)

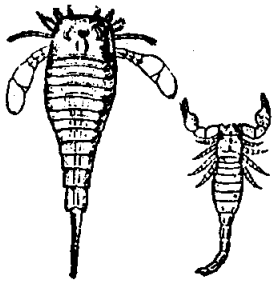


Ordovician trilobite (enrolled), snail, clam, and bryozoan. (*After Goldring, courtesy of the New York State Museum of Natural History.*)



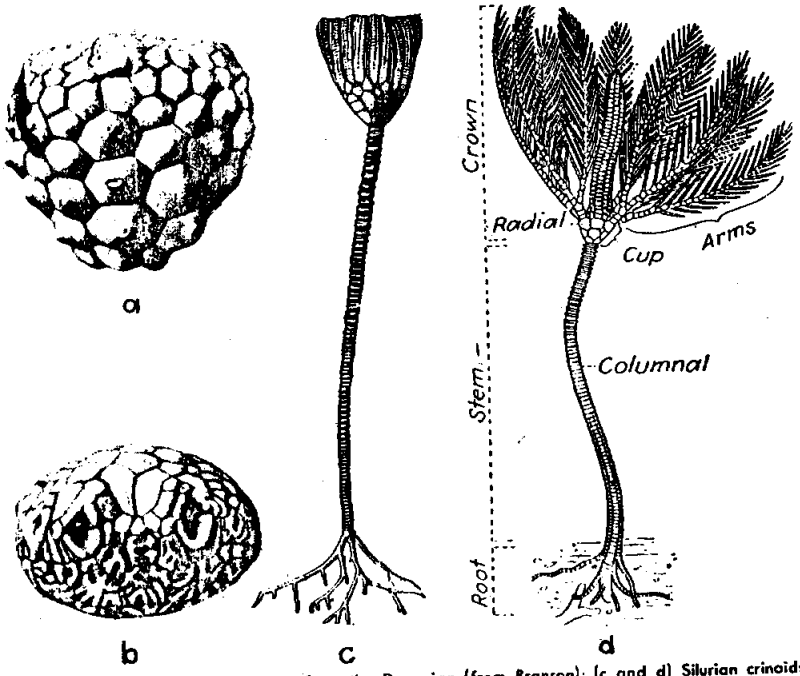
Ordovician fish (conodont) jaw elements. Five species from the Middle Ordovician, enlarged about 25 diameters. (*After Branson and Mehl.*)

(c)



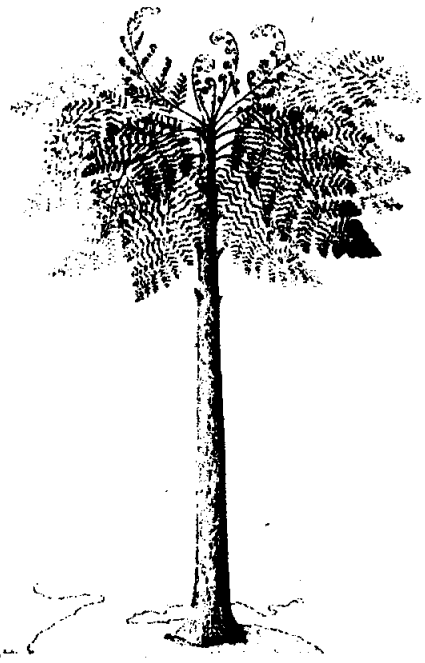
Silurian land animals; scorpion on the right, eurypterid on the left. (*From Pirsson and Schuchert, courtesy of John Wiley & Sons, Inc.*)

(e)



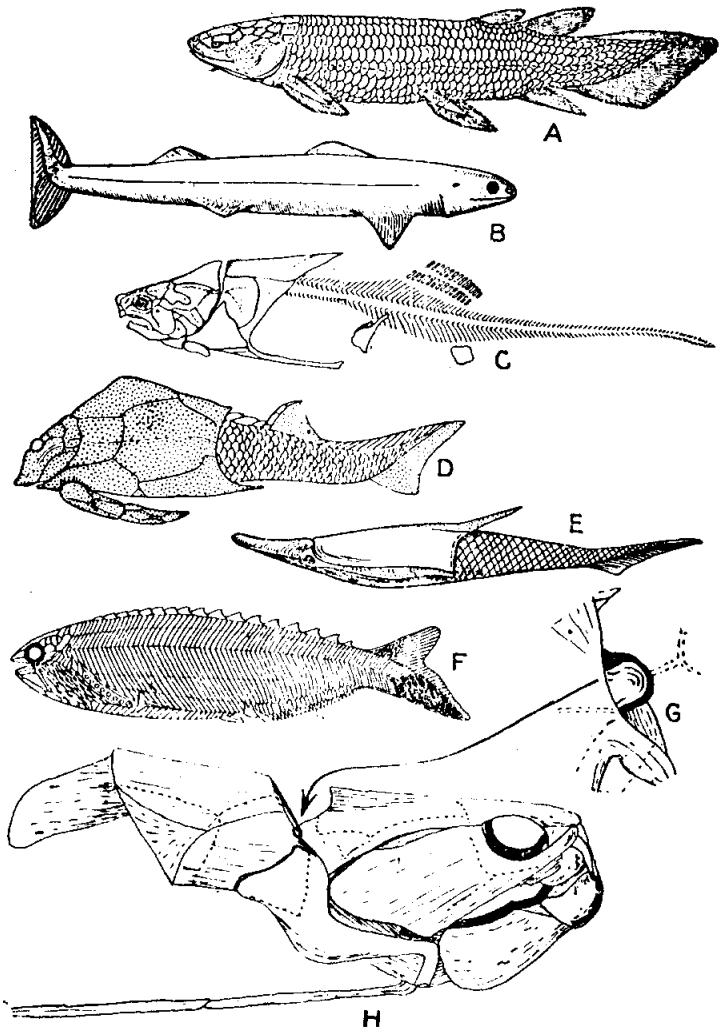
(a and b) Crinoid heads from the Devonian (from *Branson*); (c and d) Silurian crinoids. (*Courtesy of the New York State Museum of Natural History.*)

(b)

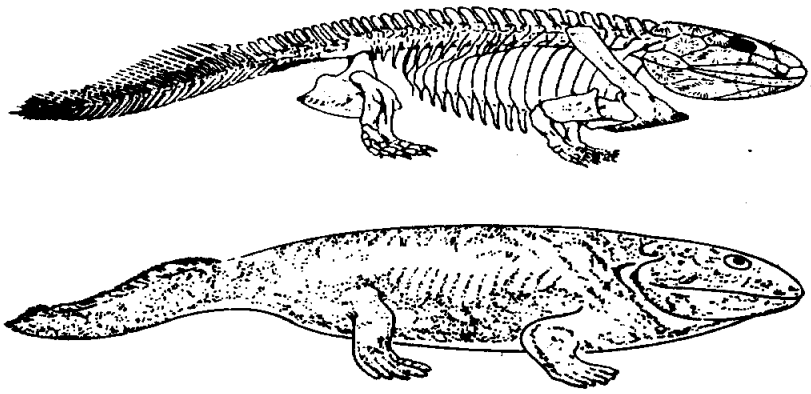


A Devonian seed fern (about 20 feet high). (*From the restoration by Winifred Goldring, courtesy of New York State Museum of Natural History.*)

(d)

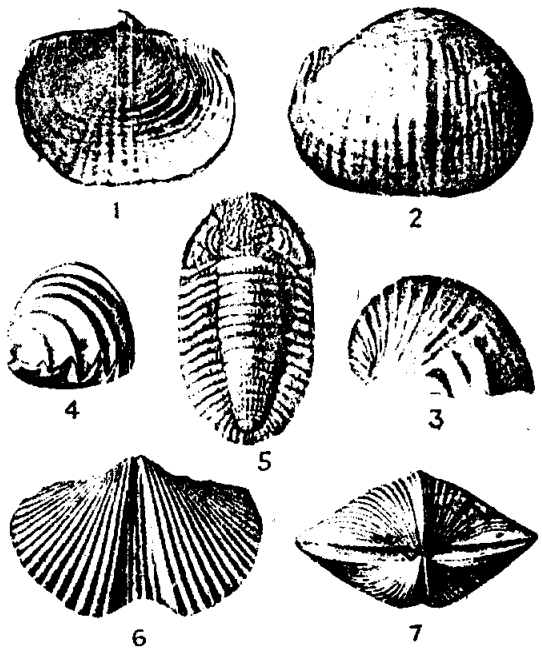


Some of the better known Devonian fishes. (a) Lungfish; (b) shark; (c) joint-neck armored fish; (d and e) armored fishes; (f) late Silurian fish; (g) joint between the head and armor of a joint-neck fish; (h) head and body armor of a joint-neck fish. *(a–e, from Pirsson and Schuchert, courtesy of John Wiley & Sons, Inc.; f, from Kiaer; g and h, from Branson.)*



Ichthyostega, a primitive Upper Devonian amphibian, has with equal justification been called a "four-footed fish." It must have wriggled about clumsily enough on land, but being the first vertebrate ashore, it was doubtless safe from predators. [*After E. Jarvik, "Ichthyostegalia."* Traité de Paléontologie, *Tome V. Masson & Cie, Paris, 1955.*]

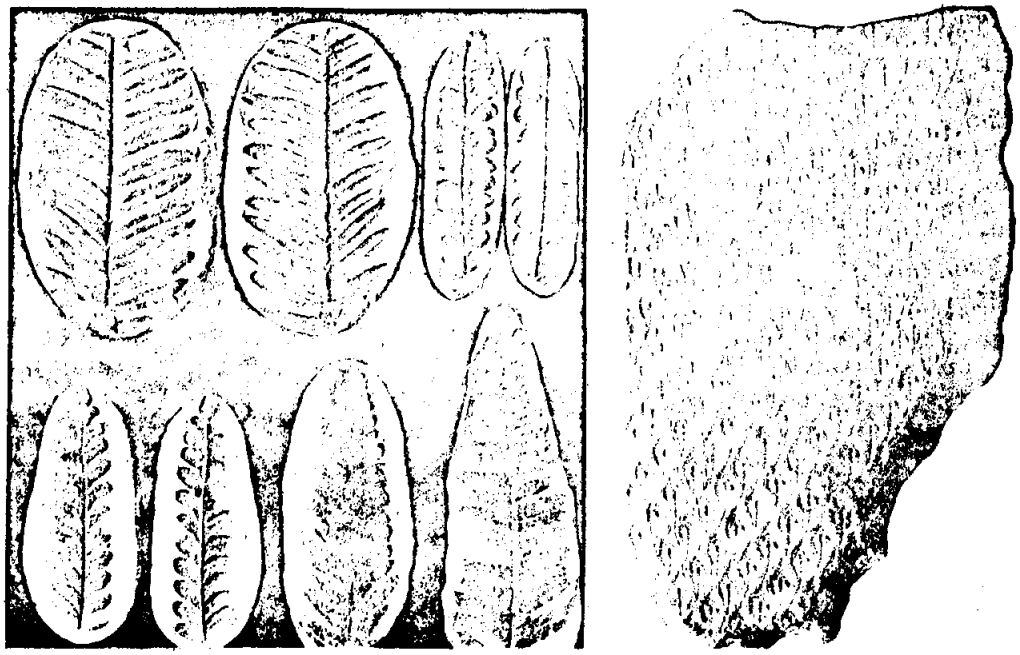
(۶)

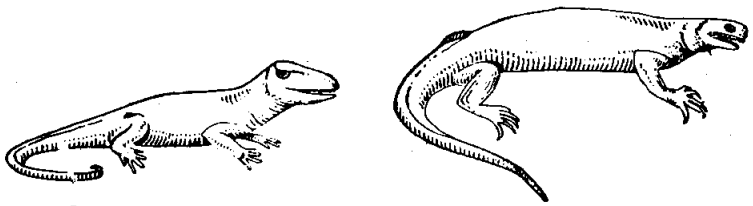


Mississippian fossils. (1, 2, 3) Productids; (4) a common brachiopod; (5) a trilobite; (6 and 7) spirifers.

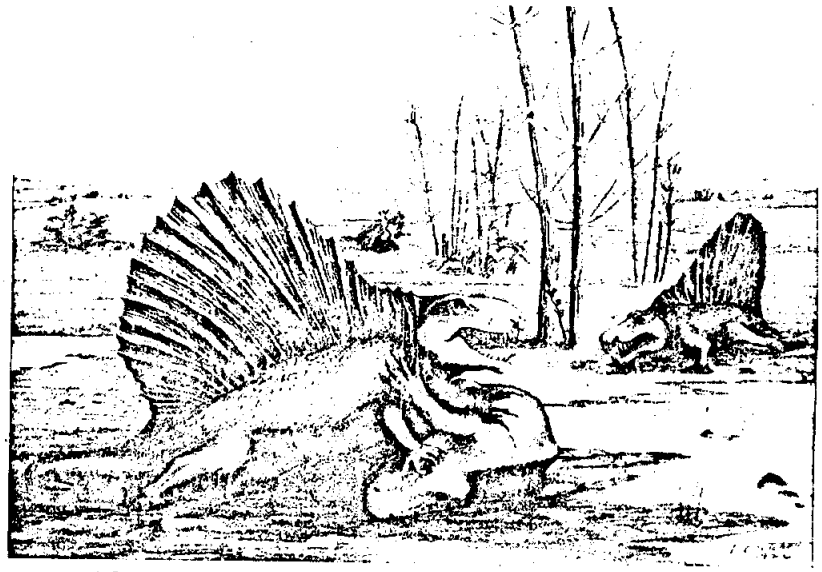
(۶۰)

Pennsylvanian plant fossils. The specimen on the right is an impression of the trunk of the seal tree, *Lepidodendron rimosum*, showing the characteristic diamond-shaped scars left by fallen leaves. The specimens on the left are various types of foliage preserved in nodules found at Mazon Creek, Illinois. Three of the specimens represent halves of nodules that can be fitted together. Remains of insects and small vertebrates are occasionally found in nodules from this locality.



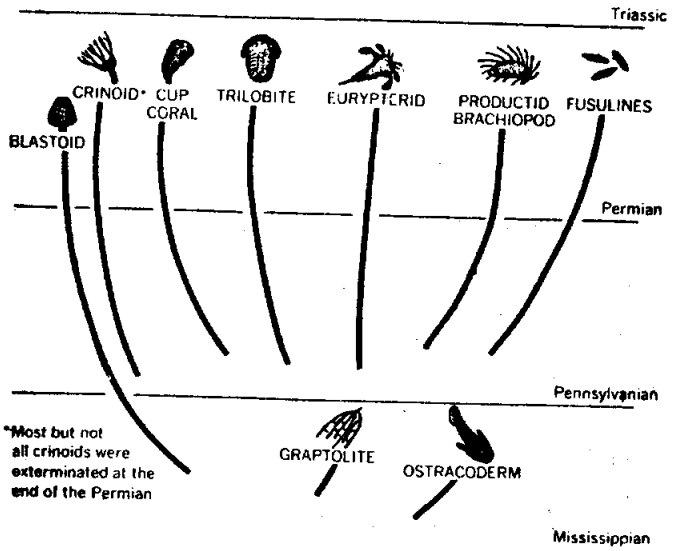


Permian reptiles (left, about 7 feet long; right, about 4 feet long). (*After Williston.*)



A Permian fin-backed reptile about 8 feet long eating a large amphibian. (*From M. G. Mehl.*)

(๑๓)



Animals exterminated at or near the close of the Paleozoic Era.

(๑๔)

รูปที่ ๘.๕ (๑ ถึง ๑๔) แสดงซากดึกดำบรรพ์ในมหายุคพาลีโอโซอิก

(๓.) มหายุคมีโสโซอิก (Mesozoic Era)

ในระยะแรกของมหายุคนี้แผ่นดินยังมีระดับสูงเหนือระดับน้ำทะเล และมีการกัดเซาะเกิดขึ้นทำให้มีการสะสมของตะกอนในแอ่งและที่ราบลุ่ม ระยะต่อมาเนื่องจากการกัดเซาะทำให้แผ่นดินลดระดับต่ำลงมา มีน้ำทะเลท่วมเข้ามาถึงบริเวณแอ่งหรือ geosynclines และตามขอบของแผ่นดิน ทำให้มีการสะสมของตะกอนบนบกและตะกอนจากทะเลสลับกันในตอนกลางมหายุค ในตอนปลายมหายุคนี้จึงพบชั้นของถ่านหินเกิดขึ้น และช่วงที่จะสิ้นสุดมหายุคมีโสโซอิกมีการเคลื่อนไหวของเปลือกโลกอย่างรุนแรงโดยเฉพาะทางซีกโลกตะวันตก และทะเลจะถอยร่นทำให้เกิดแผ่นดินสูงขึ้น เป็นช่วงที่มีสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการเพิ่มมากขึ้นทั้งสัตว์บกและสัตว์ทะเล พืชพยายามที่จะปรับตัวให้อยู่ได้ในสิ่งแวดล้อมที่ร้อนและตามฤดูกาลที่เปลี่ยน พืชพวกสน เฟิร์นและไซแคดส์ (cycads) มีมากตลอดมหายุคนี้ ในตอนกลางของยุค Cretaceous พวกไม้ดอกเกิดขึ้นมาหลายชนิด

และในมหายุคนี้เชื่อกันว่าแผ่นดินที่เคยเป็นผืนเดียวกัน Pangaea. จะแยกออกเป็น ๒ ส่วนคือ Laurasia และ Gondwanaland.

สรุปมหายุคมีโสโซอิกได้ดังนี้

มหายุคมีโสโซอิก (Mesozoic Era)

เป็นมหายุคของสัตว์เลื้อยคลาน (reptiles)

ยุคไตรแอสสิก (Triassic period) ๒๒๕-๑๙๐ ล้านปี

มีไดโนเสาร์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเกิดขึ้นครั้งแรก

มีภูเขาไฟระเบิด และภูมิอากาศแห้งแล้ง

ยุคจูแรสสิก (Jurassic period) ๑๙๐-๑๓๖ ล้านปี

นกเกิดขึ้นเป็นครั้งแรก ไดโนเสาร์เจริญแพร่พันธุ์มากที่สุด

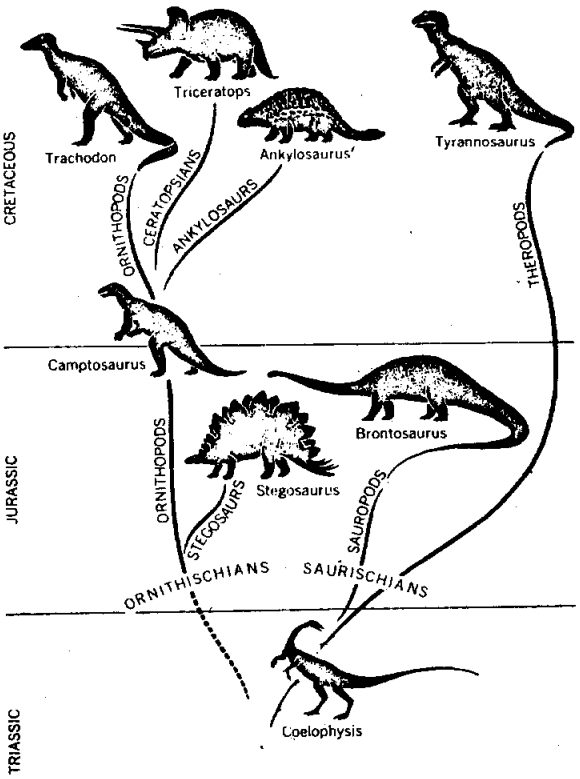
เกิดภูเขา Sierra Nevada.

<u>ยุคครีเตเชียส</u> (Cretaceous period) ๑๓๖-๖๕ล้านปี

พืชมีดอกเกิดขึ้นครั้งแรก ไดโนเสาร์จะสูญพันธ์ไปในยุคนี้

เกิดภูเขา Rocky.

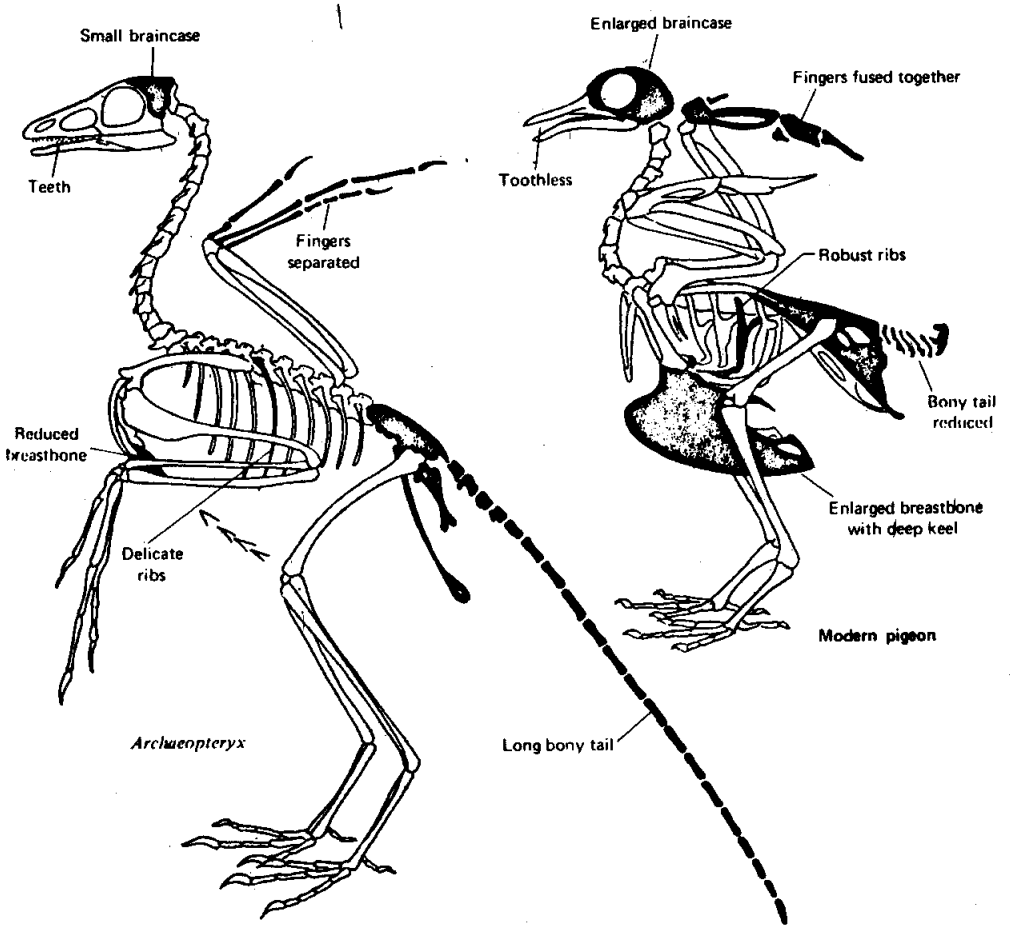
รูปที่ ๘.๖ (๑ถึง ๗) เป็นซากดึกดำบรรพ์บางชนิดในมหายุคมีโสโซอิก



Simplified family tree of the dinosaurs indicating evolutionary lines.

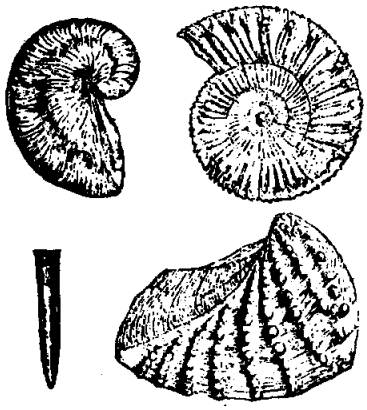
(๑)

(a)



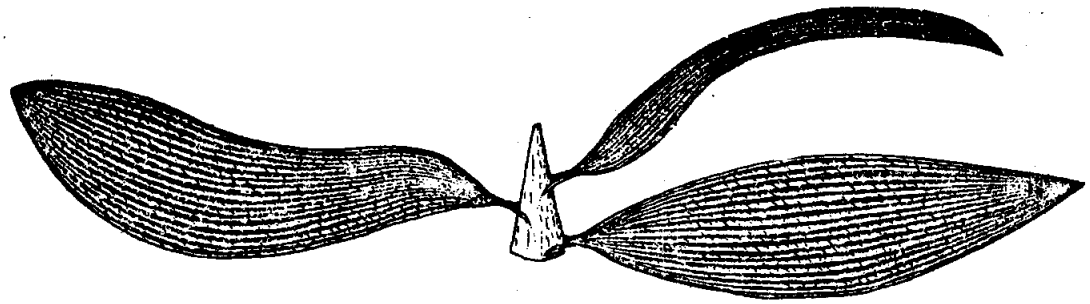
(b)

(*a*) Only two good skeletons and two incomplete skeletons of crow-size *Archaeopteryx* have been found after more than a century of quarrying at Sölnhofen, Germany. In view of their rarity, the immense amount of information that they contain, and their vital importance to the history of birds, these fossils are easily the most precious known to geology. This complete skeleton shows the bird sprawled out in its death throes. [*American Museum of Natural History photograph.*] (*b*) Corresponding structures in *Archaeopteryx* and a modern pigeon (not to the same scale) are emphasized in black. In every instance, the skeletal features of *Archaeopteryx* are more nearly reptilian. Many dinosaurs had hollow bones, as do all modern birds, but *Archaeopteryx* did not. [*After E. H. Colbert,* Evolution of the Vertebrates, *2d ed. Copyright © 1969. By permission of John Wiley & Sons, Inc., New York, 1969.*]



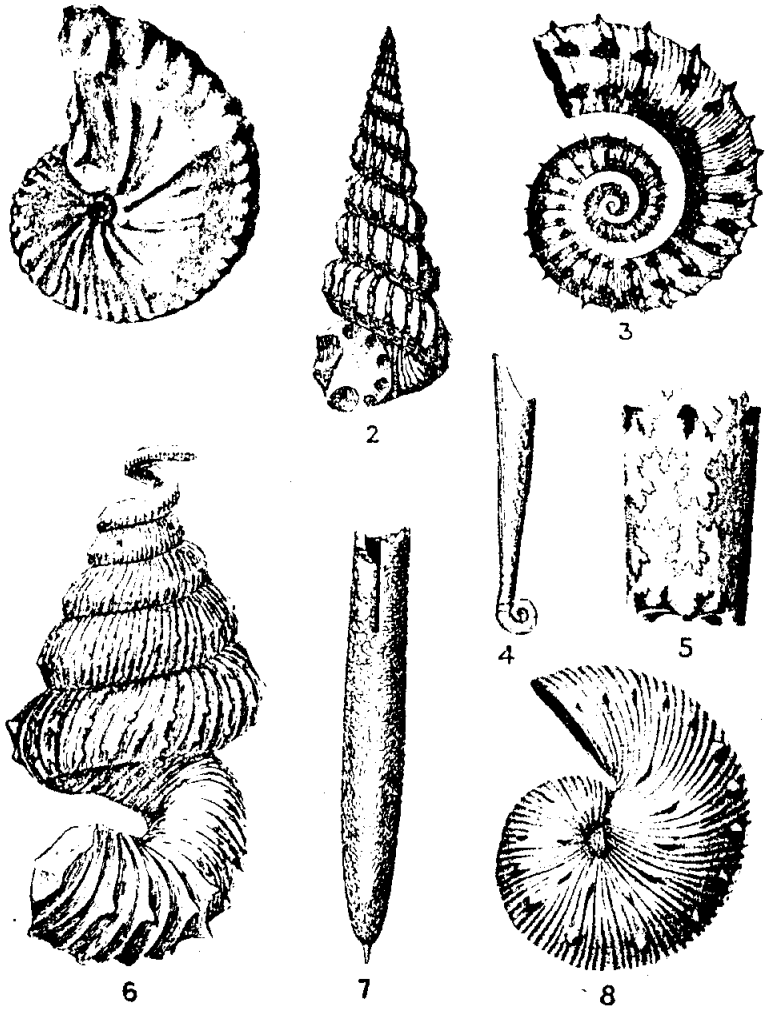
Jurassic invertebrate fossils. Upper left, an oyster; lower right, a clam; upper right, a cephalopod with part of the shell removed to show one suture; lower left, internal shell of a new kind of cephalopod called Belemnite (Jove's thunderbolt). All about $\frac{1}{2}$; natural size

(a)



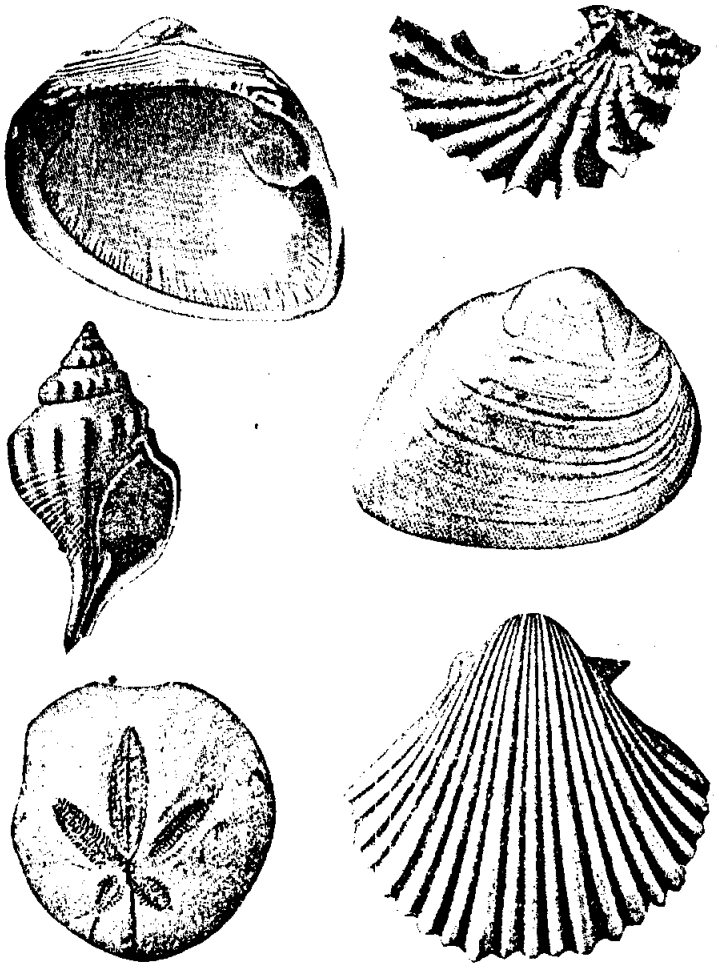
Reconstruction of a part of the earliest known flowering plant, a primitive palm, from Triassic rocks of southwestern Colorado.

(c)



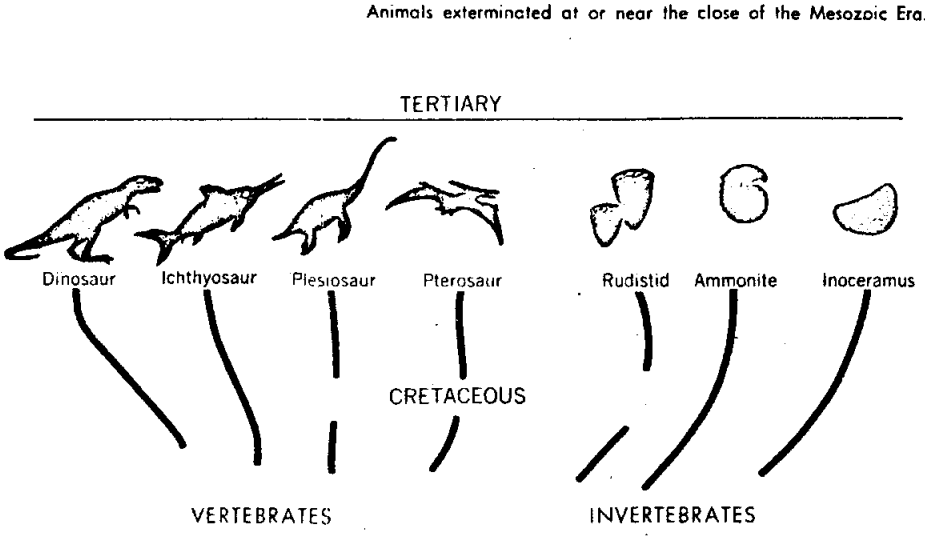
Cephalopods from the Cretaceous. *(From U.S. Geological Survey publications.)*

(c)



Clams, a snail, and a sea urchin from the Cretaceous. (*From U.S. Geological Survey publications.*)

(b)



(๗)

รูปที่ ๔.๖ (๑ ถึง ๗) แสดงซากดึกดำบรรพ์ในมหายุคมีโสโซอิก

(๔.) <u>มหายุคซีโนโซอิก</u> (Cenozoic Era)

ในตอนต้นของมหายุคนี้คือระยะช่วงยุคเทอเทียรี (Tertiary period) แผ่นดินมีลักษณะสูงต่ำเป็นลูกคลื่นและภูมิอากาศรุนแรง เกิดเทือกเขา Alpine-Himalayan chain. ตามขอบของมหาสมุทรแปซิฟิกมีแรงมากระทำ รวมทั้งบริเวณทางตะวันออกและตะวันตกของอินเดีย ตะกอนที่เกิดขึ้นในยุคนี้เกิดจากการกัดเซาะที่รุนแรงจะมีขนาดใหญ่ พวกที่มีขนาดเล็กพบน้อย นอกจากนี้ก็เกิดชายฝั่งปะการังขึ้นเกิดจากการทับถมของสิ่งมีชีวิตในทะเล และมีสัตว์และพืชเกิดขึ้นใหม่ๆหลายชนิดเกิดขึ้นเนื่องจากสิ่งแวดล้อมเปลี่ยน สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเกิดขึ้นมาก นกมีวิวัฒนาการมากยิ่งขึ้น แร่ธาตุที่สำคัญๆก็เกิดขึ้นมาในมหายุคนี้เช่น น้ำมัน แก๊ส ถ่านหิน และแร่โลหะที่เกิดขึ้นมาพร้อมแมกม่า

ในตอนปลายมหายุคซีโนโซอิก พื้นที่ทั่วโลกจะปกคลุมไปด้วยชารน้ำแข็ง โดยเฉพาะใน Pleistocene epoch. พืชและสัตว์จะสูญพันธ์ไปบ้าง จนถึง Recent ลักษณะพืช สัตว์ และทวีปต่างๆจะมีลักษณะคล้ายๆกับปัจจุบันนี้

สรุปมหายุคซีโนโซอิกได้ดังนี้

มหายุคซีโนโซอิก (Cenozoic Era)

ยุคเทอเทียรี (Tertiary period)

เป็นยุคของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (mammals)

มีชารลาวาไหลปกคลุมอยู่ทั่วไปและมีการสร้างภูเขา

พาลีโอซีน (Paleocene epoch)

๖๕ - ๕๔ ล้านปี

เริ่มต้นตระกูลของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

อีโอซีน (Eocene epoch)

๕๔ - ๓๘ ล้านปี

ต้นตระกูลม้า วัว แรด

โอลิโกซีน (Oligocene epoch)

๓๘ - ๒๖ ล้านปี

ลิงชนิดไม่มีหางและช้างเกิดขึ้น

ไมโอซีน (Miocene epoch)

๒๖ - ๗ ล้านปี

หญ้าเกิดขึ้นทั่วไป และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิด กินหญ้าเกิดขึ้นมากมาย

ไพลโอซีน (Pliocene epoch)

๗ - ๒.๕ ล้านปี

พวกไม้ดอกเกิดขึ้นเต็มไปหมด

<u>ยุคควอเทอนารี</u> (Quaternary period)

เป็นยุคที่มีชารน้ำแข็งปกคลุมทั่วไป

<u>เปลอิสโตซีน</u> (Pleistocene epoch)

๒.๕ - ๐.๐๑ ล้านปี

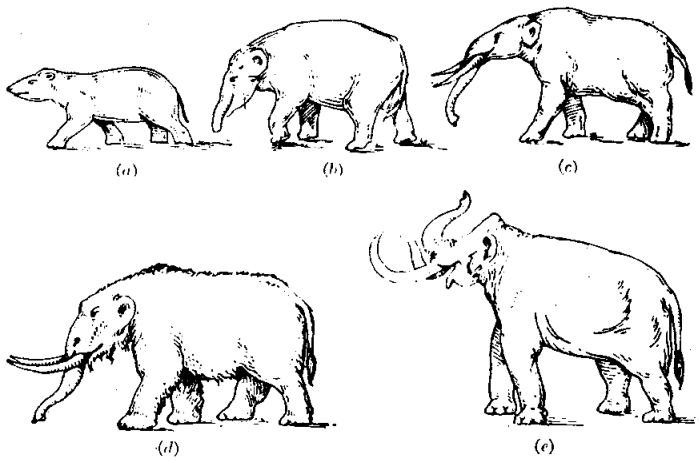
มนุษย์เกิดขึ้น และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเกิดขึ้นมากมาย

<u>ปัจจุบัน</u> (Recent)

๐.๐๑ - ๐ ล้านปี

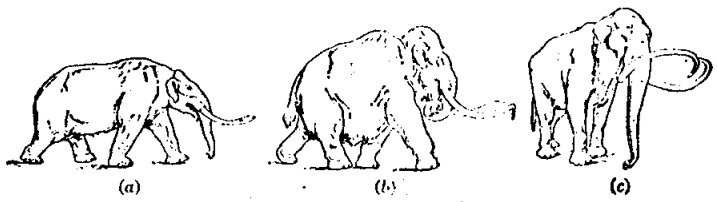
มนุษย์มีวิวัฒนาการสมบูรณ์ขึ้นและมีการดำรงชีวิตที่ดี

รูปที่ ๘.๗ (๑ ถึง ๘) ซากดึกดำบรรพ์บางชนิดในมหายุคซีโนโซอิก



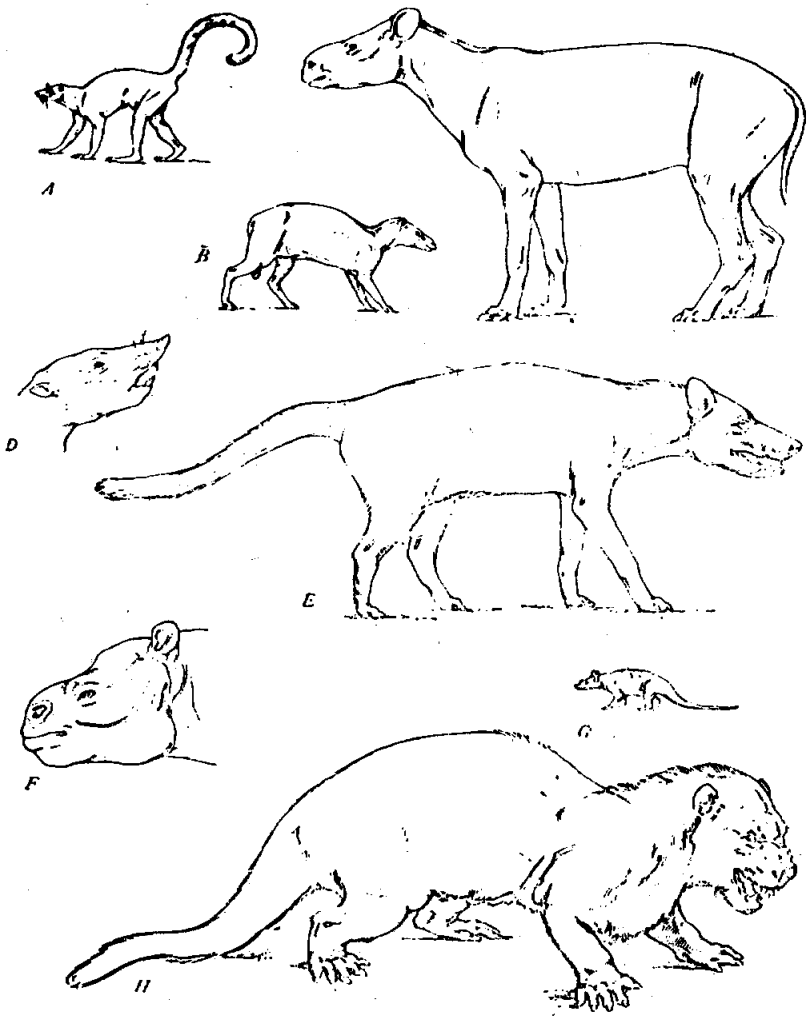
Cenozoic elephants. (a) Earliest known elephant, from the Eocene of Egypt; (b) Oligocene elephant; (c) Miocene elephant; (d) Pliocene elephant; (e) Pleistocene elephant. (*After Osborn.*)

(๑)

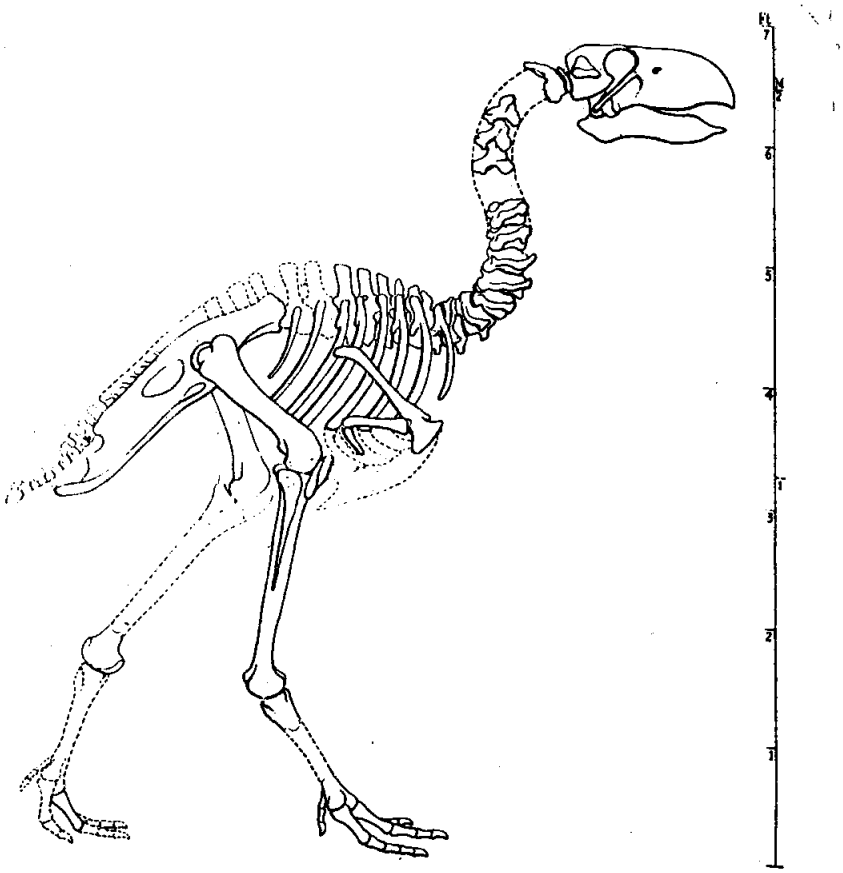


(a) Pleistocene mastodon; (b) Pleistocene mammoth; (c) Pleistocene elephant. (*After Scott.*

(๒)



Outline restorations to the same scale of contemporary Middle Eocene mammals. By Charles R. Knight. A, Notharctus, a primate, arboreal. B, Orohippus, a primitive horse, cursorial. C, Hyrachyus, a primitive rhinoceros. D, Tiliotherium, a tillodont. E, Dromocyon, a creodont, cursorial. F, Palaeosyops, a titanothere. G, Metacheiromys, an armadillo. H, Patriofelis, a creodont. *(American Museum of Natural History)*

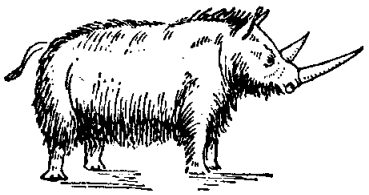


Reconstructed skeleton of a Diatryma, an early Cenozoic flightless bird. *(American Museum of Natural History)*

(c)

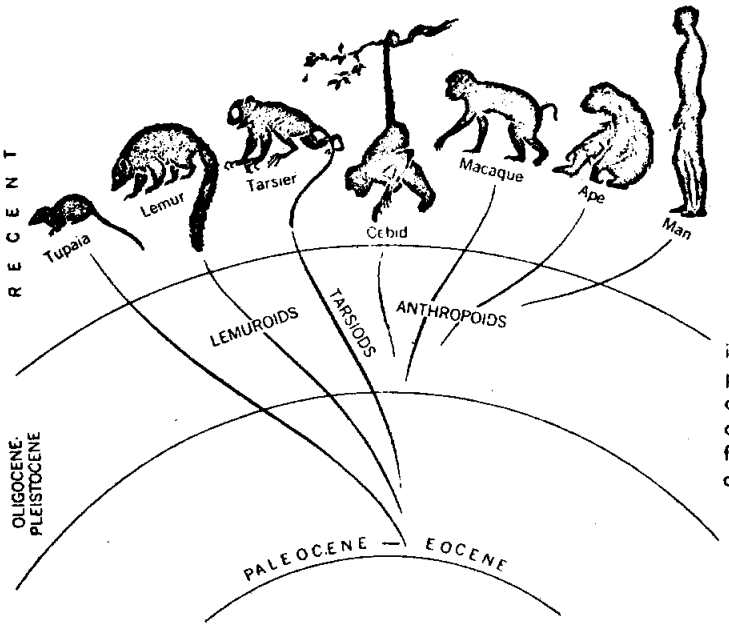
Eocene cat at the left; Pleistocene saber-toothed cat at the right. *(After Scott.)*

(c)



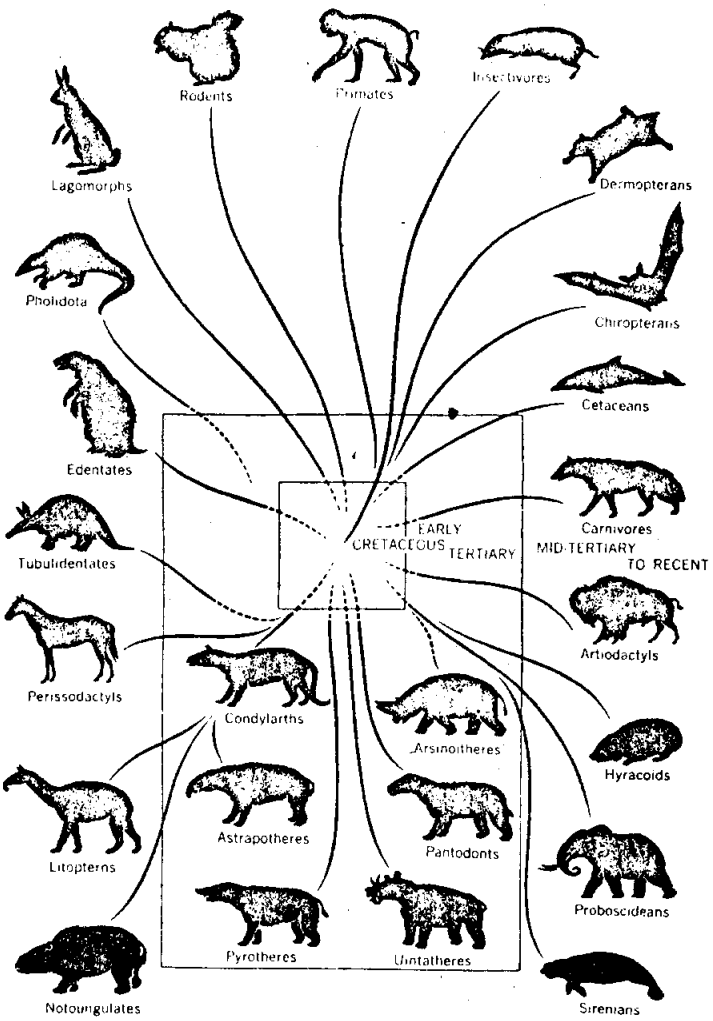
A Pleistocene woolly rhinoceros.

(b)



Relationships and inferred evolution of the major primate groups. Notice that the order of appearance, as indicated by the length of the family lines, is also the order of zoological ranking.

(d)



(๔)

Radial adaptations and relationships of the various orders of placental mammals. Those forms within the square were extinct by the close of the early Tertiary

รูปที่ ๔.๙(๑ถึง๘) แสดงชากดึกดำบรรพ์ในมหายุคซีโนโซอิก