# สารมลพิษและฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำ จากแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตประปาหมู่บ้าน โดยใช้ Salmonella typhimurium TA 98

## Water Pollutants and Mutagenicity from Raw Water Sources for Village Water Supply by Salmonella Typhimurium TA 98

*วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์ (Warangkana Sunsitthisawad)[1] ศิริลักษณ์ พาชนิด (Siriluck Pachanid)[1]*
*บังอร ศรีพานิชกุลชัย (Bungorn Sripanidkulchai)[2] วิทัศน์ จันทรโพธิ์ศรี (Witat Janposri)[1]*
*สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์ (Somsak Pitaksanurat)[1] ชัชวาลย์ ยุทธชัยยางกุล (Chatchawal Yutthachaiyangkul)[1]*
*เฉลิมศักดิ์ ท่านเจริญ (Chaleamsak Tancharean)[3]*

## บทคัดย่อ

แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตประปาหมู่บ้านในเขตอำเภอเมืองขอนแก่น มีโอกาสปนเปื้อนของเสียจากชุมชนโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ฯลฯ ทำให้น้ำดิบมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์เคมีและโลหะหนักชนิดต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ ดังนั้น การวิจัยนี้จึงได้ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบและปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง สีปรากฏ สารละลายน้ำ ไนเตรต ฟลูออไรด์ ค่าความสกปรกจากสารอินทรีย์ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม และอะลูมิเนียม จากแหล่งน้ำดิบสำหรับการผลิตประปาหมู่บ้านรวม 10 แห่ง เก็บตัวอย่างน้ำในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม พ.ศ. 2545 รวม 2 ครั้ง ตรวจวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ และห้องปฏิบัติการชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น แล้วคัดเลือกแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษสูง 3 แห่งคือ ที่หนองหญ้าแพรก หนองโดน และหนองผือ มีค่าอะลูมิเนียมสูง 1.099 มก./ล., 1.160 มก./ล. และ 1.074 มก./ล. ตามลำดับ เพื่อทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำ โดยใช้แบคทีเรีย *S. typhimurium* สายพันธุ์ TA 98 ตามวิธีทดสอบแบบเอมส์ ที่ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ผลการตรวจวิเคราะห์พบว่าคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของน้ำดิบจากทุกแหล่งยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อการนำไปผลิตประปา และตรวจไม่พบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำจากทั้ง 3 แห่ง จึงควรที่จะร่วมมือกันรักษาคุณภาพน้ำไว้ โดยควบคุมการปล่อยมลพิษโดยตรงที่แหล่งชี้ชัด (point source) ที่ตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำนั้นๆ ในกรณีที่เป็นน้ำจากการเกษตรกรรมซึ่งเป็น non-point source ก็ควรมีการควบคุมการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอกและสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ตลอดจนการจัดการดินที่ถูกวิธี เพื่อเป็นการอนุรักษ์แหล่งน้ำไว้เป็นทรัพยากรแก่อนุชนรุ่นหลังต่อไป

## Abstract

There was the chance of contamination from community and industrial waste into raw water sources for village water supply in Muang district, Khon Kaen province. This might effect to water quality that could be contaminated with pollutants such as fertilizers, pesticides, heavy metals, and mutagens. Therefore, This project was to analyze the quality of raw water for studying the existing condition of water quality parameters, i.e. pH, apparent color, TDS, $NO_3$, fluoride, BOD, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Al, and mutagens. The water samples were collected twice a month during February-March, 2002 from 10 water sources around Muang district, Khon Kaen province. Analysis of physical and chemical water qualities were analyzed using the standard methods at environmental health laboratory, Faculty of Public Health and biochemical laboratory, Faculty of Medicine, Khon Kaen University. Mutagens, the three water sources at Nong Yapreak, Nong Done, and Nong Pheu resulted high concentration of aluminum 1.099 mg/L, 1.160 mg/L, 1.074 mg./L respectively, was analyzed by *S. typhimurium* TA 98 was Ame's test at microbiology laboratory, Faculty of Pharmaceutical science, Ubon Ratchathani province.

The result was found that the physical and chemical qualities of raw water ranged within the standard criteria for consumption purposes. Mutagens were not detected in the raw water source. This study showed that the quality of raw water around Muang district, Khon Kaen province was suitable for consumption. Thus, such water qualities must be preserved by controlling pollutants released from point sources nearly the raw water sources. In the case of agricultural non-point sources, should be made of chemical fertilizers stable manure and pesticides including the proper means of soil management so as to conserve the natural resources the next generations.

**คำสำคัญ:** สารมลพิษ ฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำ แหล่งน้ำดิบ
**Keywords:** Water Pollutants; Mutagenicity, Raw Water Sources ; Salmonella typhimurium TA 98

[1] คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น [2] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น [3] ส่วนบริหารจัดการน้ำ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 4

## บทนำ

การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการเติบโตทางภาคอุตสาหกรรม ส่งผลให้มีการขยายตัวของชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะบริเวณริมฝั่งน้ำ ทั้งน้ำเสียที่ประกอบด้วยสารพิษหลายชนิดจะโดยทางตรงหรือทางอ้อมก็ตาม แหล่งรับน้ำเสียหรือน้ำทิ้งเหล่านี้มักเป็นน้ำผิวดิน ดังนั้นแหล่งน้ำผิวดินจึงมีโอกาสได้รับสารพิษต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำเสีย เช่น สารอินทรีย์ โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง ฯลฯ ประกอบกับการไหลนองบนพื้นดิน ทำให้น้ำผิวดินได้รับความสกปรกจากสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่าง ๆ คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจึงเสื่อมโทรมลง สารพิษดังกล่าวอาจส่งผลต่อสุขภาพได้ในแง่ของสารก่อกลายพันธุ์ (mutagens) Kusamran et al., (1994) พบว่าแม่น้ำเจ้าพระยาและคลองประปาของกรุงเทพมหานครมีสารก่อกลายพันธุ์บางชนิดที่ทำให้เกิดการขาดหายหรือเพิ่มเข้ามาของเบสในสายดีเอ็นเอ (frame-shift mutation) โดยพบการกลายพันธุ์ในแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* YG 1024 มีจำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ (mutant colony) ในสภาวะที่มีเอ็นซัยม์กระตุ้นจำนวน 87-1,213 โคโลนี โดยสารนี้จะอยู่ในน้ำและตะกอนดิน มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมของปลาน้ำจืดและปลาน้ำเค็ม (Baumann, 1998) Rasmussen & White (1998) พบว่า N-nitroso compound, Aromatic amines และ Polycyclic aromatic hydrocarbons ($PAH_s$) เป็นสารก่อกลายพันธุ์ในน้ำทิ้งชุมชนที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน Claxton et al. (1998) ได้จัดระดับความรุนแรงของน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมในการเป็นสารก่อกลายพันธุ์ออกเป็น 10 ระดับ โดยพบระดับความแรงของสารนี้ในน้ำทิ้งปริมาณสูง ได้แก่ โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตเหล็ก และโรงงานผลิตสารเคมีอินทรีย์

การตรวจสอบสารก่อกลายพันธุ์ (mutagens) ในแบคทีเรีย ที่ใช้เวลาน้อย มีความไว ไม่ยุ่งยาก ประหยัด แม่นยำสูง เป็นวิธีที่ยอมรับและเชื่อถือได้คือ การทดสอบแบบเอมส์ (Ames'test) (Ames et al., 1975) โดยการทดสอบนี้ทำในหลอดทดลองที่ผสมแบคทีเรียชนิดเฉพาะกับสารที่ต้องการทดสอบ และโคแฟคเตอร์บางอย่าง ซึ่งแบคทีเรียชนิดเฉพาะนี้ไม่สามารถเจริญเป็นโคโลนีให้เห็นได้ เมื่อเลี้ยงเชื้อในตัวกลางที่ขาดกรดอะมิโนฮิสทิดีน (aminohistidine) เพราะต้องการกรดอะมิโนฮิสทิดีนในการเจริญเติบโต (histidine dependent) และดีเอ็นเอของมันไม่สามารถสร้างเอ็นซัยม์ที่จำเป็นในการสังเคราะห์กรดอะมิโนฮิสทิดีนได้ ถ้าเลี้ยงแบคทีเรียในสารที่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ สารดังกล่าวสามารถไปเปลี่ยนเบสในสายดีเอ็นเอทำให้เกิดความผิดปกติขึ้น แบคทีเรียสามารถสร้างกรดอะมิโนฮิสทิดีนขึ้นใช้เองได้ โดยที่ไม่ต้องการฮิสทิดีนจากตัวกลางอีกต่อไป จึงทำให้แบคทีเรียเจริญจนเห็นเป็นโคโลนีได้ เรียกว่าโคโลนีกลายพันธุ์ โดยเป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบและยืนยันการเป็นสารก่อกลายพันธุ์ได้ถึงร้อยละ 85 (นวพรรณและคณะ, 2541) นอกจากนี้ยังพบว่าประมาณ ร้อยละ 80 ของสารก่อกลายพันธุ์เป็นสารก่อมะเร็ง และร้อยละ 60-90 ของสารก่อมะเร็งมีฤทธิ์ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ (อุษณีย์, 2543)

สารก่อกลายพันธุ์มีความสามารถที่จะทำให้เซลล์ที่ผ่าเหล่าแล้ว มีโอกาสเป็นเซลล์มะเร็งได้ถึงร้อยละ 80 นับว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดมะเร็ง กลไกการทำงานคล้ายคลึงกับสารก่อมะเร็ง (carcinogen) คือสารทั้งสองมีผลต่อกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิค (DNA) ทำให้โมโลกุลของ DNA ผิดปกติในการจำลองตัวมันเอง (replication) และยังมีผลต่อการแปลรหัสให้กับโมเลกุล RNA และโปรตีนตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ทำให้เซลล์เปลี่ยนไปจากเดิม อาจควบคุมการแบ่งตัวเองไม่ได้ ไม่สามารถรับรู้สัญญาณการควบคุมเหมือนเซลล์ปกติได้ เซลล์ที่ผิดปกติแบบนี้เพียงเซลล์เดียว จะสามารถขยายโดยการแบ่งตัวเองไปเรื่อย ๆ จนกลายเป็นก้อนเนื้องอกได้ในที่สุด นอกจากว่าจะเป็นความโชคดีของร่างกายที่เซลล์ร้ายที่เกิดขึ้นครั้งแรกนั้น ถูกทำลายด้วยระบบภูมิคุ้มกัน หรือโมเลกุล หรือส่วนที่เป็นเบสของ DNA นั้น ถูกซ่อมแซมให้เป็นปกติอย่างเดิมเสียก่อน

วันชัย และคณะ (2541) พบว่าอุบัติการณ์โรคมะเร็งทุกชนิดในจังหวัดขอนแก่น ปี 2535-2538 มี Age-standardized incidence rate (ARS) เป็น 172.5 และ 125.1 ต่อ 100,000 ในเพศชาย

และหญิงตามลำดับ โดยเฉพาะอำเภอเมืองขอนแก่นมีอุบัติการณ์โรคมะเร็งทุกชนิดสูงกว่าทั้งจังหวัดมาก คือ มี ARS 195.0 และ 152.9 ต่อ 100,000 ในเพศชายและหญิงตามลำดับ

แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตประปาหมู่บ้าน ในเขตอำเภอเมืองขอนแก่นมีโอกาสปนเปื้อนของเสียจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรมรวมทั้งผลิตภัณฑ์จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ฯลฯ ที่ใช้ในการเกษตร ถึงแม้จะมีระบบบำบัดน้ำเสียแต่น้ำทิ้งหลังการบำบัดแล้วยังมีความสกปรกอยู่ ประกอบกับข้อจำกัดปริมาณน้ำต้นทุนที่จะเจือจางความสกปรกถูกควบคุมโดยการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนอุบลรัตน์ จึงส่งผลให้แม่น้ำพองตอนล่างอยู่ในภาวะที่เสื่อมโทรม แหล่งน้ำดิบที่สูบน้ำจากแม่น้ำพอง อาจได้รับสารมลพิษจากชุมชนที่ตั้งอยู่บริเวณเหนือน้ำได้แก่ น้ำทิ้งเทศบาลตำบลเขื่อนอุบลรัตน์ทั้งหมดระบายลงสู่เขื่อนอุบลรัตน์ น้ำทิ้งชุมชนบริเวณโรงงานน้ำตาลขอนแก่น โรงงานสุราทิพย์มหาสิน และน้ำทิ้งเทศบาลนครขอนแก่น โรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่บริเวณเหนือน้ำได้แก่ โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานน้ำตาล โรงงานสุรา โรงงานไม้อัดและเฟอร์นิเจอร์ โรงงานแป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังมีพื้นที่เกษตรกรรมตามริมฝั่งน้ำได้แก่ จำนวน 3 หมู่บ้านในเขตอำเภออุบลรัตน์ จำนวน 17 หมู่บ้านในเขตอำเภอน้ำพอง และจำนวน 16 หมู่บ้านในเขตอำเภอเมือง ส่วนบริเวณริมแม่น้ำชีมีนิคมอุตสาหกรรมแก้งสนามนาง โรงงานน้ำตาล โรงงานเบียร์ ฯลฯ ตั้งอยู่ และแหล่งน้ำธรรมชาติที่อยู่ในหมู่บ้านส่วนใหญ่ ไม่ได้สงวนไว้สำหรับการผลิตประปาเพียงอย่างเดียว แต่ยังใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรม มีการปลูกพืชผัก ดอกไม้สำหรับจำหน่าย เป็นพื้นที่กว้างและหลากชนิด จึงอาจทำให้น้ำดิบมีการปนเปื้อนโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ตลอดจนสารอินทรีย์เคมีหลายชนิดปะปนอยู่อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นจึงควรมีการตรวจวัดปริมาณสารมลพิษในแหล่งน้ำดิบ และเลือกตัวอย่างที่มีปัญหามลพิษ นำไปทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำโดยวิธีทดสอบแบบเอมส์ เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดการทรัพยากรน้ำมิให้มีปริมาณสารพิษต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำต่อไป

## วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการสำรวจภาคตัดขวางเพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำจากแหล่งน้ำสำหรับผลิตประปาหมู่บ้าน ในเขตอำเภอเมืองขอนแก่น ในช่วงฤดูแล้ง เดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม 2545

ประปาหมู่บ้านที่ศึกษา

ระบบประปาที่กรมอนามัยได้จัดสร้างขึ้นในเขตอำเภอเมืองขอนแก่น มีทั้งหมด 29 แห่ง ปัจจุบันเปิดดำเนินการ 26 แห่ง แบ่งเป็นประปาหมู่บ้านบาดาล 8 แห่ง และประปาผิวดิน 18 แห่ง แหล่งน้ำที่ศึกษาเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตประปาหมู่บ้าน ได้รับน้ำจากบริเวณท้ายน้ำของแม่น้ำพองและชี ทั้งโดยวิธีสูบตรงและสูบจากแม่น้ำมาเก็บไว้ในแหล่งน้ำสำรอง ซึ่งแม่น้ำทั้งสองไหลผ่านแหล่งกำเนิดมลพิษและมีโอกาสปนเปื้อนสารมลพิษสูง ส่วนบึงแก่นน้ำต้อนซึ่งเป็นบึงธรรมชาติขนาดใหญ่ที่อาจได้รับสารมลพิษจากน้ำทิ้งของหมู่บ้านจัดสรรและสถานประกอบการขนาดเล็กที่ตั้งอยู่โดยรอบ จึงเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จำนวนรวม 10 แห่ง ดังภาพที่ 1

การเก็บตัวอย่างน้ำและการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

เก็บตัวอย่างน้ำในแหล่งน้ำดิบ เพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีรวม 2 ครั้ง เมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2545 และวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2545 เก็บตัวอย่างด้วย Van Dorn bottle ชนิดแนวนอน (horizontal) ณ บริเวณจุดสูบน้ำดิบ ที่ความลึก 1 เมตร ยกเว้นที่บ้านตงพอง บ้านบึงฉิม บ้านโคกท่า และบ้านเหล่านกชุม เก็บตัวอย่างน้ำที่จุดกึ่งกลางความลึกของลำน้ำ ตัวอย่างที่นำไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีทั่วไป ได้แก่ สี สารละลายน้ำฟลูออไรด์ บีโอดี เก็บตัวอย่างใส่ขวดพลาสติก PE ปริมาตร 4 ลิตร และแช่เย็น ไนเตรตเก็บตัวอย่างใส่ขวด HDPE ปริมาตร 2 ลิตรเติมกรดซัลฟุริกเข้มข้น 0.8 มล./ล. และแช่เย็น ตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม และอะลูมิเนียม ใส่ขวด HDPE ปริมาตร 2 ลิตรเติม

กรดไนตริก 5 มล./ล และวัด pH ทันที ณ จุดเก็บตัวอย่าง ทุกตัวอย่างนำไปตรวจวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ และห้องปฏิบัติการชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีปฏิบัติตามวิธีการใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 1995)

แล้วพิจารณาคัดเลือกแหล่งน้ำที่มีผลตรวจวิเคราะห์สารมลพิษสูง โดยเลือกมาตรวจวิเคราะห์ 3 แห่ง เพื่อทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำ โดยใช้ Blue rayon (เส้นใยสังเคราะห์ rayon สีฟ้าเข้ม ที่ถูกเคลือบด้วย trisulfo-copper-phthalocyanine) ขนาด 0.375 กรัม หุ้มด้วยผ้าขาวบาง นำไปแช่ในแหล่งน้ำนั้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2545 สำหรับนำไปทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำโดยใช้แบคทีเรีย *S. typhimurium* สายพันธุ์ TA 98 ที่ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี การตรวจสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของสารก่อกลายพันธุ์ในแบคทีเรีย *S.typhimurium* TA98 โดยใช้ค่าเฉลี่ยมัชฌิมเลขคณิต (X) ของโคโลนีกลายพันธุ์ ($His^+$ revertant) การแปลผล โดยถ้าสารที่ทดสอบมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์จะพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ทดสอบกับจำนวน $His^+$ revertant เพิ่มขึ้น และพบว่ามีอย่างน้อย 2 ความเข้มข้นที่ให้จำนวนแบคทีเรียกลายพันธุ์มีจำนวนมากกว่าจำนวนที่กลายพันธุ์ตามธรรมชาติ ในขณะเดียวกันต้องมีอย่างน้อยที่ความเข้มข้นจุดหนึ่งสามารถทำให้จำนวนแบคทีเรียกลายพันธุ์สูงเกิน 2 เท่าของการกลายพันธุ์ตามธรรมชาติจึงนับว่าสารที่นำมาทดสอบเป็นสารก่อกลายพันธุ์ (บังอร และคณะ, 2544)

## ผลการวิจัย

**คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตประปา**

ประปาหมู่บ้านที่ศึกษารวม 10 แห่ง จำนวน 9 แห่ง เป็นระบบประปาหมู่บ้านผิวดินขนาดใหญ่ซึ่งให้บริการน้ำประปาในหมู่บ้านมากกว่า 300 หลังคาเรือน และ 1 แห่ง ให้บริการ 120-300 หลังคาเรือน มีอัตราการผลิตน้ำประปา 10-20 ลบ.ม./ชม น้ำดิบที่สูบน้ำจากบึงธรรมชาติมีแห่งเดียวคือประปาบ้านสะอาด สูบน้ำจากแก่งน้ำต้อน น้ำดิบสูบจากแม่น้ำพองโดยตรง (river intake) มี 3 แห่งคือ ประปาบ้านโคกท่า ประปาบ้านดงพอง และประปาบ้านบึงฉิม น้ำดิบสูบจากบึงธรรมชาติในบริเวณหมู่บ้าน ซึ่งได้รับน้ำจากคลองส่งน้ำที่สูบจากแม่น้ำพอง (pumped storage reservoirs) มี 3 แห่งคือ ประปาบ้านเต่านอ สูบน้ำจากซอลประทานหนองหวายและหนองอีเริง ประปาบ้านบึงเนียม-ใคร่นุ่น สูบน้ำจากหนองโดน และประปาบ้านผือ สูบน้ำจากหนองผือ ส่วนประปาที่สูบน้ำจากแม่น้ำชีโดยตรงมีแห่งเดียวคือประปาบ้านเหล่านกชุม และประปาที่สูบน้ำจากบึงธรรมชาติในบริเวณหมู่บ้าน ซึ่งได้น้ำรับจากคลองส่งน้ำที่สูบจากแม่น้ำชี มี 2 แห่งคือ ประปาบ้านดอนหัน สูบน้ำจากหนองแจ และประปาบ้านหนองหญ้าแพรก สูบน้ำจากหนองหญ้าแพรก ระบบประปาที่ศึกษามีการดำเนินการจ่ายน้ำให้แก่สมาชิกผู้ใช้น้ำมาแล้ว 2-5 ปี จำนวน 4 แห่ง ดำเนินการ 5-10 ปีจำนวน 5 แห่งและมากกว่า 10 ปี จำนวน 1 แห่ง ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (ตารางที่ 1) พบว่า ทุกตัวอย่างมีดัชนีคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีทั่วไป อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ใช้เป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตประปาได้ ยกเว้นที่หนองโดน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำดิบของประปาหมู่บ้านบึงเนียม-ใคร่นุ่น มีค่าความสกปรกจากสารอินทรีย์ ($BOD_5$) สูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการขุดลอกหนองโดนและคลองส่งน้ำ

ปริมาณโลหะหนักทองแดง สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียมของตัวอย่างในทุกแหล่งน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน แมงกานีสในแหล่งน้ำดิบของหนองผือมีปริมาณสูง คือ 1.195 มก./ล. ซึ่งเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ปริมาณเหล็กและอะลูมิเนียมเกือบทุกตัวอย่าง (7 แห่งจาก 10 แห่ง) มีปริมาณสูงแต่เกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินไม่ได้กำหนดค่านี้ไว้ จึงเปรียบเทียบค่าที่ตรวจพบกับค่ามาตรฐานน้ำเพื่อการบริโภคตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 ซึ่งกำหนดให้มีเหล็กไม่เกินกว่า 0.3 มก./ล. และอะลูมิเนียมไม่เกินกว่า 0.02 มก./ล.

จึงนับว่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานนี้และในแหล่งน้ำที่มีเหล็กและอะลูมิเนียมสูง จะพบสภาพทางกายภาพของน้ำจืงใสมาก ซึ่งชวนให้น่าดื่มน่าใช้ ธาตุทั้งสองนี้มีบทบาทลดการสูญเสียฟอสฟอรัสแบบชะละลาย (leaching loss) ในดิน จึงช่วยควบคุมปริมาณฟอสเฟตที่ละลายน้ำและที่อาจเป็นประโยชน์ต่อสาหร่ายและพืชน้ำ (Wolf et al., 1985) เท่ากับเป็นการจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายไปด้วย การที่ร่างกายได้รับเหล็กปริมาณสูงอย่างต่อเนื่องอาจทำให้เกิดภาวะฮีโมโครมาโทซีส (Hemochromatosis; HHC) และภาวะนี้สามารถพัฒนาไปสู่การเป็นโรคต่าง ๆ ได้ เช่น เบาหวาน หัวใจ ออทริทิส ตับ ความดัน และมะเร็ง (http://www.irondisorders.org/disorders/hem/index.htm, 2003) ส่วนอะลูมิเนียมเป็นสาเหตุหนึ่งของการเป็นโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimers's disease) (European Aluminium Association, 2001)

งานวิจัยนี้มีงบประมาณไม่มากจึงต้องคัดเลือกแหล่งน้ำจาก 10 แห่งให้เหลือ 3 แห่ง เพื่อนำไปทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของส่วนสกัดจากตัวอย่างน้ำ จึงนำผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารมลพิษมาพิจารณาพบว่าค่าดัชนีคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี และค่าโลหะหนักส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนบีโอดีและแมงกานีสมีเพียงบางแห่งที่สูงเกินค่ามาตรฐานเหล็กและอะลูมิเนียมพบมากเกือบทุกแห่งเท่ากัน แต่เป็นที่น่าสังเกตที่หนองหญ้าแพรก หนองโดน และหนองผือมีค่าอะลูมิเนียมสูงมาก 1.099 มก./ล., 1.160 มก./ล. และ 1.074 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อสำรวจสภาพสิ่งแวดล้อมพบว่า ที่ระบบประปาหมู่บ้านมีการปล่อยน้ำล้างย้อน (back wash) ทิ้งลงในแหล่งน้ำจึงเป็นสาเหตุของการเพิ่มอะลูมิเนียม และมีสภาพทางกายภาพของน้ำใส น่าดื่มน่าใช้ แต่มีปริมาณสารละลายน้ำได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำอื่น ๆ คณะผู้วิจัยจึงได้เลือกแหล่งน้ำทั้ง 3 แห่งนี้ ไปทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของส่วนสกัดจากตัวอย่างน้ำ

**ฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของส่วนสกัดจากตัวอย่างน้ำ**

*Salmonella typhimurium* TA 98 ที่นำมาทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของส่วนสกัดจากตัวอย่างน้ำตามวิธีทดสอบแบบเอมส์ เป็นเชื้อที่มีคุณสมบัติคือมีความต้องการฮิสทิดีนในการเจริญเติบโต ดื้อต่อยาแอมพิซิลิน ไม่เกิด clear zone ซึ่งเรียกว่าเชื้อมีคุณสมบัติ R-factor และมีคุณสมบัติ rfa mutation คือเซลล์ขาดสารไลโปโพลีแซคคาไรด์ (lipopolysaccharide) ซึ่งปกติเคลือบบนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย จึงส่งผลให้สาร Crystal violet ซึ่งมีโมเลกุลใหญ่ผ่านเข้าเซลล์ได้ ซึ่งเห็น Clear zone ชัดเจน และมีคุณสมบัติไวต่อแสงอุลตร้าไวโอเลต (uvrB mutation) แบคทีเรียจะขาดระบบซ่อมแซมดีเอนเอที่ผิดปกติ (loss of DNA excision repairing system) โดยเชื้อที่ได้รับแสงยูวีจะเจริญผิดปกติ นอกจากนี้การทดสอบการก่อกลายพันธุ์ตามธรรมชาติของเชื้อจะมีจำนวน Spontaneous colonies อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ 20-50 โคโลนีซึ่งถือว่าเป็น blank หรือ background ที่ต้องนำไปหักลบจากค่า mutant colony ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสารเคมี และเมื่อนำเชื้อไปทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ด้วยสารก่อกลายพันธุ์มาตรฐาน (AF-2) และ plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารก่อกลายพันธุ์มาตรฐาน และค่าเฉลี่ยจำนวนเชื้อ ซึ่งจะได้กราฟที่มีลักษณะมีความสัมพันธ์กัน (dose response relationship) (ภาพที่ 2)

จำนวน revertant colony เฉลี่ยของเชื้อ *S. typhimurium* TA 98 ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (DMSO) คือ 30 โคโลนี ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (20-50 โคโลนี)

จำนวน revertant colony เฉลี่ยของเชื้อ *S. typhimurium* TA98 ที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยสารก่อกลายพันธุ์มาตรฐาน (AF-2) ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 μg/plate เฉลี่ย 196 และ 207 โคโลนี ตามลำดับ และค่า จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและจำนวน revertant colony พบว่าได้กราฟที่มีลักษณะมีความสัมพันธ์กัน (ภาพที่ 2)

จำนวน revertant colony เฉลี่ยของเชื้อ *S. typhimurium* สายพันธุ์ TA 98 ที่ถูกเหนี่ยวนำจากส่วนสกัดของตัวอย่างน้ำ ในปริมาตรต่าง ๆ ได้แก่ 20, 50, 100 และ 150 μl/plate ของทั้ง 3 แหล่งน้ำ พบว่าจำนวน revertant colony เฉลี่ยต่ำสุดคือ 19 โคโลนี ของปริมาตร 150 μl/plate ณ จุดเก็บน้ำหนองโดน

และจุดเก็บน้ำหนองผือ ส่วนจำนวน revertant colony เฉลี่ยสูงสุดคือ 32 โคโลนี ของปริมาตร 20 µl/plate ณ จุดเก็บน้ำหนองผือ (ตารางที่ 3) และเมื่อ plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสกัดจากตัวอย่างน้ำและจำนวน revertant colony ที่ปริมาตรต่างกันพบว่า ลักษณะกราฟไม่มีความสัมพันธ์กัน (non response relationship) คือ เมื่อปริมาณสารเพิ่มขึ้น จำนวน revertant colony ไม่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย (ภาพที่ 3) และ revertant colony ส่วนใหญ่นั้น มีจำนวนน้อยกว่า 2 เท่า ของจำนวนกลายพันธุ์ตามธรรมชาติ (60 โคโลนี) จึงสรุปได้ว่าส่วนสกัดของตัวอย่างน้ำ ทุก ๆ ปริมาตร ในแหล่งน้ำดิบทั้ง 3 แห่ง ที่นำมาทดสอบนั้น ตรวจไม่พบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำ โดยใช้เชื้อ *S. typhimurium* TA 98

## สรุปและวิจารณ์ผล

การเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคมนั้น ถือเป็นช่วงวิกฤตของแหล่งน้ำ เนื่องจากน้ำมีปริมาณน้อย การชะล้างของตะกอนดินท้องน้ำต่ำ เกิดการสะสมของสารพิษและโลหะหนักได้ ประกอบกับอุณหภูมิของน้ำสูง สามารถละลายสารมลพิษได้มากกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ แหล่งมลพิษจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และกิจกรรมการเกษตร ซึ่งเพาะปลูกได้ตลอดทั้งปีสามารถปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำดิบแต่ละแห่งได้ และเกิดการสะสมในสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งมีชีวิต ดังนั้นการทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำโดยแบคทีเรีย *Salmonella* สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการติดตามการปนเปื้อนของสารมลพิษในแหล่งน้ำได้

การตรวจวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำดิบเลือกหลายตัวแปร เนื่องจากทุกตัวมีโอกาสเป็นสารก่อกลายพันธุ์ได้ เช่น การมีไนโตรเจนในรูปไนเตรตในน้ำดื่มสูง เมื่อคนหรือสัตว์ดื่มน้ำที่มีไนเตรตเข้าไป ไนเตรตสามารถเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรต์และสารก่อมะเร็งไนโตซามีน (carcinogenic nitrosamine หรือ N-nitroso compound) อันเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดมะเร็งในร่างกายได้หลายแห่ง เช่น กระเพาะ ลำไส้ใหญ่ กระเพาะปัสสาวะ และในปาก และไนเตรตยังเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดโรคเมทฮีโมโกลบิน (Methemoglobinemia or blue-baby syndrome) สภาพร่างกายจะขาดอากาศโดยทางเคมี (chemical suffocation) เกิดจากแบคทีเรียวงศ์ *Enterobateriaceae* ทุกชนิด ซึ่งพบในน้ำลายและกระเพาะอาหาร สามารถเปลี่ยนไนเตรตเป็นไนไตรต์ แบคทีเรียจะเจริญได้ดีในเด็กอ่อนอายุไม่เกิน 3 เดือน และสัตว์ที่กระเพาะ จึงมักพบรายงานผู้ป่วยเป็นโรคดังกล่าวอายุต่ำกว่า 1 ขวบ ส่วนในสัตว์จะแสดงอาการขาดวิตามินเอ ผสมพันธุ์ติดยาก และแท้งลูกง่าย

กรณีที่น้ำดิบมีค่าความสกปรกจากสารอินทรีย์สูง เมื่อมีการเติมคลอรีนให้กับน้ำดิบอาจทำให้เกิดสารอินทรีย์เคมีได้ เช่น คลอรีนทำปฏิกิริยากับกรดฮิวมิค ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายตามธรรมชาติของใบไม้ใบหญ้าและซากพืช ทำให้เกิดสารประกอบไตรแฮโลมีเทน (trihalomethane) ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (chloroform) ซึ่งเชื่อว่าเป็นต้นเหตุของมะเร็งในสัตว์ทดลอง แต่ผลการก่อมะเร็งในคนยังไม่อาจสรุปได้ (possible human carcinogenic; group 2B) (IARC, 1987)

แคดเมียมมีความเป็นพิษสูง สามารถเข้าแทนที่สังกะสีในระบบเอนซัยม์เนื่องจากมีโครงสร้างของอะตอมคล้ายกัน การดื่มน้ำที่มีแคดเมียมเจือปนตั้งแต่ 15 มก./ล. จะเกิดปัสสาวะมีโปรตีน เนื่องจากมีโปรตีนยูเรีย (proteinurea) ในไตสูง ท่อไตชำรุดและบาดเจ็บ ในหญิงสูงอายุจะมีการเปลี่ยนแปลงของกระดูกผิดรูป เรียกว่าโรคอิไตอิไต (Itai-Itai) หรือโรคกระดูกนิ่ม (osteomalacia) และแคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อที่อยู่ลึก (sarcoma) เช่น กล้ามเนื้อ กระดูก ในหนูทดลอง

กรณีที่น้ำดิบมีโลหะหนักเจือปน การกำจัดด้วยกระบวนการทำความสะอาดน้ำแบบธรรมดาไม่สามารถใช้ได้ผล และการเลือกวิธีกำจัดแบบใดต้องคำนึงถึงเคมีของน้ำให้มาก ทั้งนี้เพราะการกำจัดขึ้นอยู่กับสถานะของโลหะ (valence state) อยู่ในรูปไอออนชนิดใด และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ เป็นต้น

แหล่งน้ำผิวดินมีโอกาสปนเปื้อนของเสียจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งผลิตภัณฑ์จากชุมชน เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ฯลฯ ทำให้น้ำดิบมีสารพิษโลหะหนัก ตลอดจนสารอินทรีย์เคมีชนิดต่าง ๆ ปะปนอยู่

และสร้างปัญหาในการกำจัดออกจากน้ำประปา เนื่องจากน้ำผิวดินได้รับผลกระทบจากกรณีนี้มากกว่าน้ำบาดาลอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จากผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของทุกแหล่งน้ำดิบของการวิจัยครั้งนี้ พบว่ายังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อการนำไปผลิตประปา และตรวจไม่พบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำ โดยใช้เชื้อ *S. typhimurium* TA 98 จึงสมควรอย่างยิ่งที่จะร่วมมือกันรักษาคุณภาพนี้ไว้โดยควบคุมการปล่อยมลพิษโดยตรงที่แหล่งชี้ชัด (point source) ที่ตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำนั่นๆ ในกรณีที่เป็นน้ำจากชุมชนเกษตรกรรม ซึ่งเป็น non-point source ก็ควรมีการควบคุมการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอกและการจัดการดินที่ถูกวิธี เพื่อเป็นการอนุรักษ์ไว้เป็นทรัพยากรแก่อนุชนรุ่นหลังต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ Professor T. Matsushima ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อ *Salmonella typhimurium* TA 98 และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนวิจัยนี้ ในชุดโครงการ การมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนาคุณภาพประปาหมู่บ้าน

## เอกสารอ้างอิง

นวพรรณ จารุรักษ์, จุฑารัตน์ สุธีโสภณ, นรินทร์ วรวุฒิ. 2541. วัฏจักรของเซลล์และการเกิดโรคมะเร็ง. ว.จุฬาลงกรณ์เวชสาร. 42(11):1035-1048.

บังอร ศรีพานิชกุลชัย, อัญชลี ตัดตะวะศาสตร์, พิสมัย เหล่าภัทรเกษม, อารมณ์ ตัดตะวะศาสตร์, กิตติศักดิ์ ศรีพานิชกุลชัย. 2544. ฤทธิ์ต้านการกลายพันธุ์ของสมุนไพรท้องถิ่น 8 ชนิด. ว.วิจัย มข. 6(1):23-33.

วันชัย วัฒนศัพท์, สุพรรณี ศรีอัมพร, สุพจน์ คำสะอาด, กฤติกา สุวรรณรุ่งเรือง, สุจินันท์ หรสิทธิ์, ภัคณัณท์ อุสันเทียะ. 2541. รายงานอุบัติการณ์โรคมะเร็งในจังหวัดขอนแก่น ปี 2535-2538. ขอนแก่น: หน่วยมะเร็ง โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อุษณีย์ วินิจเวชดำนาญ. 2543. การทดสอบการกลายพันธุ์ โดยแบคทีเรียซัลโมเนลลา. เอกสารประชุมเชิงปฏิบัติการ การทดสอบสารก่อกลายพันธุ์ สารก่อมะเร็ง และสารก่อวิรูปด้วยวิธีตรวจระยะสั้น. 4-8 พฤศจิกายน 2534. เชียงใหม่.

Ames, Bn ; Mccann, J ; Yamasaki, E. 1975. Method for detecting carcinogens and mutagens with the *Salmonella/* mamalian-microsome mutagenicity test. **Mutation Research.** 31 : 347-363.

APHA ; AWWA and WEF. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 19th Ed, Washington, DC: American Public Health ASS. : 1000-3000.

Baumann, BC. 1998. Epizootic of cancer in fish associated with genotoxins in sediment and water. **Mutation Research.** 411 : 227-233.

Claxton, LD ; Houk, VS; Hughes, TJ. 1998. Gentoxicity of industrial wastes and effluents. **Mutation Research.** 410 : 237-243.

European Aluminium Association. 2001. Aluminium and health: Dose aluminium play a role in Alzheimers's disease? (online) 2003 Sep 22 [cited 2003 Nov 10]. Available from: http://www.world-aluminium.org/environment/health/

**Hemochromatosis** (online) 2001 Jan [cited 2003 Nov 10]. Available from: http://www.irondisorders.org/ disorders/hem/index.htm

IARC (International Agency for Research on cancer). 1987. **Monographs on the Evaluation of the carcinogenic Risk of Chimicals to Humans. Supplement 7.**

Kusamran, W R ; Wakabayashi, K ; Oguri, A ; Tepsuwan, A ; Nagao, M ; Sugimura, T. 1994. Mutagenicities of Bangkok and Tokyo river waters. **Mutation Research.** 325 : 99-104.

Rasmussen, JB ; White, PA. 1998. The genotoxic hazards of domestic wastes in surface waters. **Mutation Research.** 410 : 223- 236.

Sakamoto, H ; Ohe, T ; Hyatsu, H. 1996. Evaluation of blue-chitin column, blue-ravon hanging, and XAD-resin column techniques for concentrating mutagens from two Japanese rivers. **Mutation research.** 371 (1-2): 79-85.

Wolf, AM ; Baker, DE ; Pionke, HB and Kunishi, HM . 1985. Soil tests for estimating labile, solution, and algae-available phosphorus in agricultural soils. **J. Environ. Qual.** 14: 341-348.

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปและค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพน้ำของตัวอย่างน้ำ ในแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตประปาหมู่บ้าน

| ประปาหมู่บ้าน | ข้อมูลทั่วไป | | | คุณภาพน้ำ (มก./ล) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ขนาด | ปีงบฯ | แหล่งน้ำ | pH | Color | TDS | $NO_3$ | F | $BOD_5$ |
| 1.โคกท่า ม.11 ต.หนองตูม | H | 2539 | น้ำพอง | 7.5 | 80 | 265 | 0.3 | 0.20 | 1.1 |
| 2.ดงพอง ม. 10 ต.ศิลา | H | 2543 | ลำน้ำพอง | 7.8 | 120 | 120 | 0.3 | 0.19 | 0.8 |
| 3.บึงฉิม ม.4 ต.บึงเนียม | N | 2541 | ลำน้ำพอง | 7.7 | 160 | 125 | 0.4 | 0.18 | 1.4 |
| 4.บึงเนียม-ใคร่นุ่น ม. 1 ต.บึงเนียม | H | 2537 | หนองโดน | 7.9 | 140 | 445 | Nil | 0.16 | 5.2** |
| 5.เตานอ ม. 7 ต.ศิลา | H | 2540 | หนองอีเร็ง | 7.7 | 100 | 160 | 0.2 | 0.22 | 1.5 |
| 6.บ้านผือ ม. 5 ต.ดอนหัน | H | 2543 | หนองผือ | 7.6 | 60 | 320 | 0.1 | 0.12 | 2.1 |
| 7.เหล่านกชุม ม. 4 ต.ดอนหัน | H | 2538 | น้ำซี | 8.1 | 80 | 280 | Nil | 0.20 | 1.5 |
| 8.หนองหญ้าแพรก ม. 5 ต.ดอนหัน | H | 2537 | หนองหญ้าแพรก | 7.6 | 160 | 405 | 0.1 | 0.28 | 2.2 |
| 9.ดอนหัน-ดอนน้อย-ดอนแดง ม.1 ต.ดอนหัน | H | 2543 | หนองแจ | 7.9 | 40 | 230 | nil | 0.17 | 1.2 |
| 10.สะอาด ม.1 ต.เมืองเก่า | H | 2531 | แก่งน้ำต้อน | 7.8 | 60 | 320 | 0.1 | 0.19 | 1.2 |
| ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน* | | | | 5-9 | ธรรมชาติ | - | 5.0 | - | 2-4 |

* ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความใน พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

** มีการขุดลอกคลองส่งน้ำ

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักของตัวอย่างน้ำ ในแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตประปาหมู่บ้าน

| ประปาหมู่บ้าน | คุณภาพน้ำ (มก./ล) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fe | Mn | Cu | Zn | Pb | Cr | Cd | Al |
| 1. โคกท่า ม.11 ต.หนองตูม | 1.280 | 0.313 | 0.016 | 0.025 | 0.050 | 0.006 | 0.002 | Nil |
| 2. ดงพอง ม. 10 ต.ศิลา | 1.290 | 0.260 | 0.013 | 0.034 | 0.051 | 0.006 | 0.002 | 0.002 |
| 3. บึงฉิม ม.4 ต.บึงเนียม | 1.460 | 0.234 | 0.013 | 0.071 | Nil | 0.004 | 0.005 | 0.064 |
| 4. บึงเนียม-ใคร่นุ่น ม. 1 ต.บึงเนียม | 1.080 | 0.438 | 0.011 | 0.038 | Nil | 0.008 | 0.002 | 1.160 |
| 5. เต่านอ ม. 7 ต.ศิลา | 0.910 | 0.300 | 0.015 | 0.027 | Nil | 0.003 | 0.005 | 0.021 |
| 6. บ้านผือ ม. 5 ต.ดอนหัน | 0.870 | 1.195 | 0.012 | 0.032 | 0.007 | 0.004 | 0.001 | 1.074 |
| 7. เหล่านกชุม ม. 4 ต.ดอนหัน | 0.250 | 0.166 | 0.015 | 0.049 | 0.042 | 0.004 | 0.002 | 0.038 |
| 8. หนองหญ้าแพรก ม. 5 ต.ดอนหัน | 0.530 | 0.230 | 0.013 | 0.033 | 0.007 | 0.004 | 0.001 | 1.099 |
| 9.ดอนหัน-ดอนน้อย-ดอนแดง ม. 1 ต.ดอนหัน | 0.140 | 0.212 | 0.010 | 0.032 | 0.011 | 0.003 | 0.001 | 0.019 |
| 10.สะอาด ม.1 ต.เมืองเก่า | 0.390 | 0.254 | 0.015 | 0.034 | 0.015 | 0.006 | 0.004 | 0.036 |
| ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ | 0.3** | 1.0* | 0.1* | 0.05* | 0.05* | 0.05* | 0.05* | 0.02** |

* ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความใน พรบ.ส่งเสริมและรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

** ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ 2534) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ เล่ม 108 ตอนที่ 61 ลงวันที่ 2 เมษายน 2534

ตารางที่ 3 จำนวน revertant colony เฉลี่ยของเชื้อ *S. typhimurium* สายพันธุ์ TA98 ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (DMSO), ที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยสารก่อกลายพันธุ์มาตรฐาน (AF-2) และส่วนสกัดของตัวอย่างน้ำตามปริมาตรต่าง ๆ ที่ใช้ และผลการทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของส่วนสกัดจากตัวอย่างน้ำ

| จุดเก็บตัวอย่างน้ำ | ส่วนสกัดของน้ำตัวอย่าง | | ผลการทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ |
|---|---|---|---|
| | ความเข้มข้นที่ทดสอบ (μl/plate) | จำนวน revertant colony เฉลี่ย ($\bar{X}$) | |
| หนองโดน บ้านบึงเนียม-ใคร่นุ่น | 20 | 20 | negative |
| | 50 | 28 | negative |
| | 100 | 30 | negative |
| | 150 | 19 | negative |
| หนองผือ | 20 | 32 | negative |
| | 50 | 20 | negative |
| | 100 | 28 | negative |
| | 150 | 19 | negative |
| หนองหญ้าแพรก | 20 | 26 | negative |
| | 50 | 27 | negative |
| | 100 | 30 | negative |
| | 150 | 29 | negative |

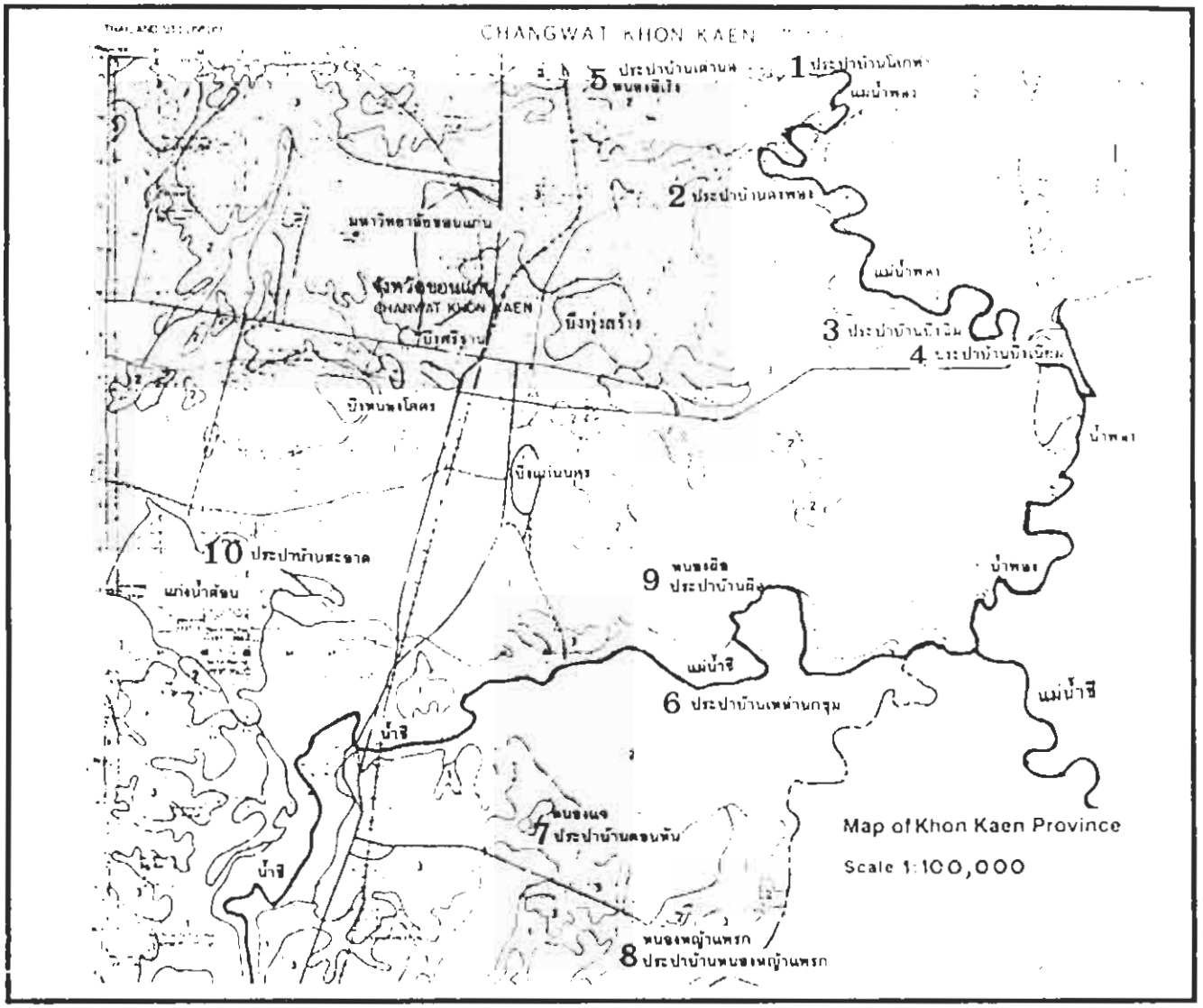
หมายเหตุ เก็บตัวอย่างน้ำเมื่อวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2545 ตรวจวิเคราะห์เมื่อวันที่ 21 มีนาคม 2545 อ่านผลการตรวจวิเคราะห์เมื่อวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2545

- ค่าความขุ่นของ Culture ($OD_{660}$) ใช้ spectrophotometer วัดที่ความยาวคลื่น 660 nm น้ำกลั่นเป็น Blank มีค่า $OD_{660}$ = 0.282
- DMSO (background) ปริมาตร 50 (μl/plate) พบว่ามีจำนวน revertant colony เฉลี่ย 30 โคโลนี
- AF-2 (positive control) ปริมาตร 0.1 และ 0.2 (μg/plate) พบว่ามี revertant colony เฉลี่ย 196 และ 207 โคโลนี ตามลำดับ

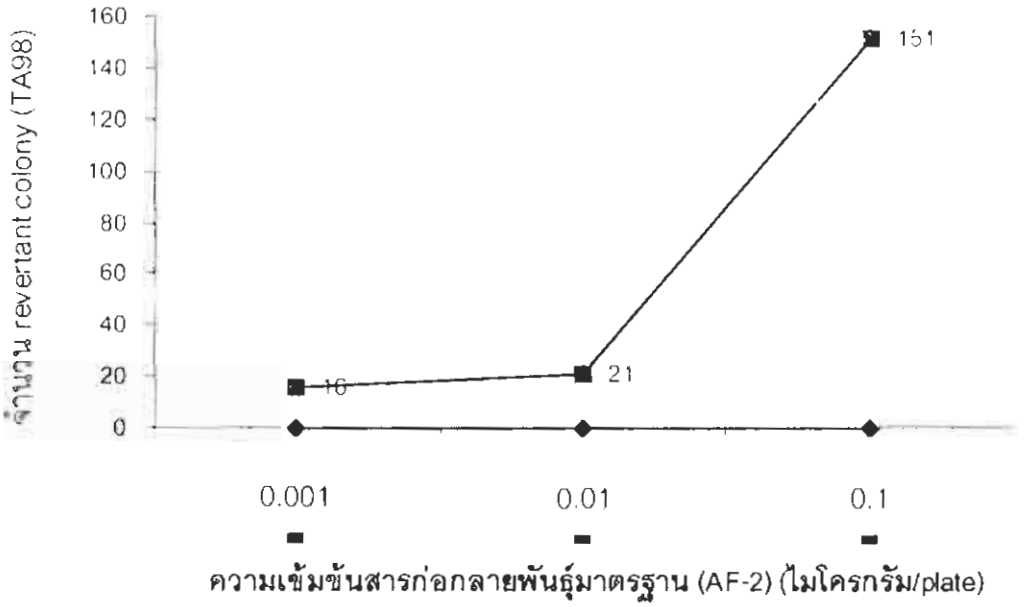
**ภาพที่ 1** จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ทั้ง 10 แห่ง

1. ประปาบ้านโคกท่า หมู่ 1 ตำบลหนองตูม
2. ประปาบ้านดงพอง หมู่ 10 ตาบลศิลา
3. ประปาบ้านบึงฉิม หมู่ 1 ตำบลบึงเนียม
4. บ้านบึงเนียม-ใคร่นุ่น หมู่ 1 ตำบลบึงเนียม
5. ประปาบ้านเต่านอ หมู่ 7 ตำบลศิลา
6. ประปาบ้านเหล่านกชุม หมู่ 4 ตาบลดอนหัน
7. ประปาบ้านดอนหัน-ดอนน้อย-ดอนแดง ม.1 ต.ดอนหัน
8. ประปาบ้านหนองหญ้าแพรก ม. 5 ต.ดอนหัน
9. ประปาบ้านผือ หมู่ 2 ตำบลพระลับ
10. ประปาบ้านสะอาด หมู่ 1 ตำบลเมืองเก่า

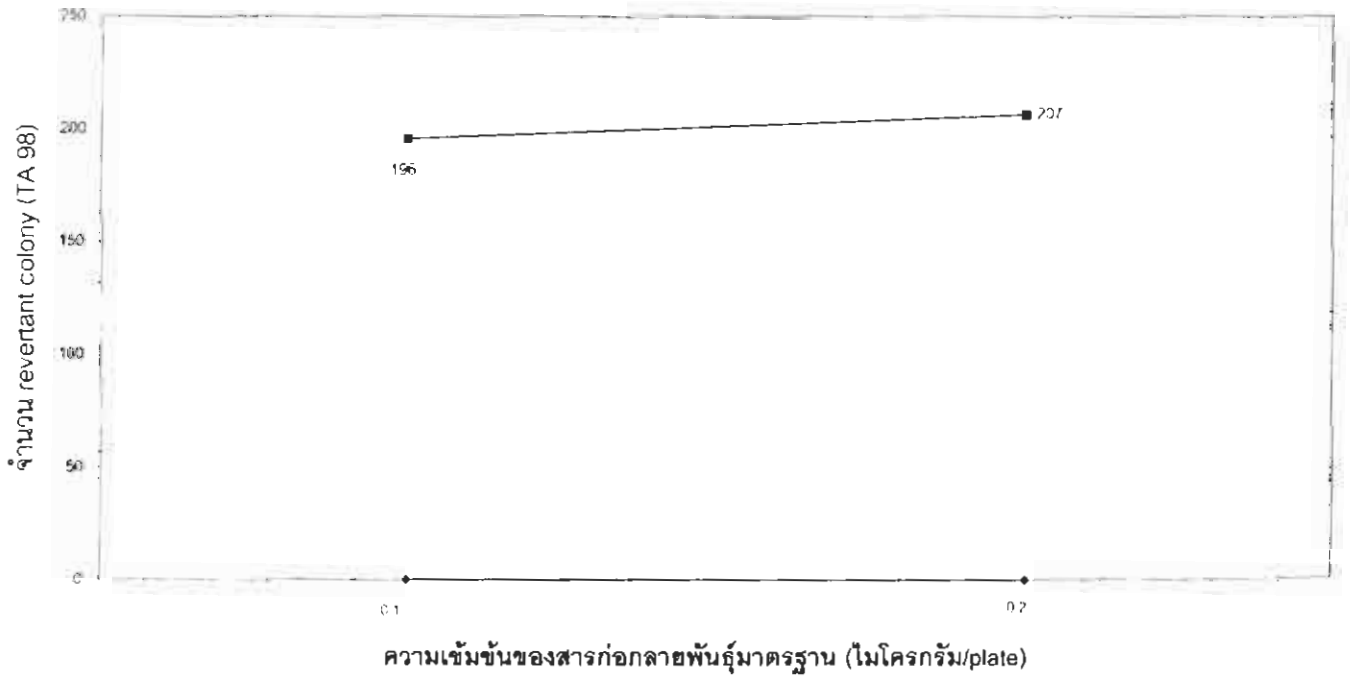
ค่าที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทำซ้ำสองครั้ง



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน revertant colony ของเชื้อ *Samonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 เมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยสารก่อกลายพันธุ์มาตรฐาน (AF-2)




ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน revertant colony ของเชื้อ *S. typhimurium* TA98 เมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยสารก่อกลายพันธุ์มาตรฐาน



**ภาพที่ 4** ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโคโลนีของเชื้อ *S. typhimurium* TA 98 และความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารสกัดตัวอย่างน้ำ