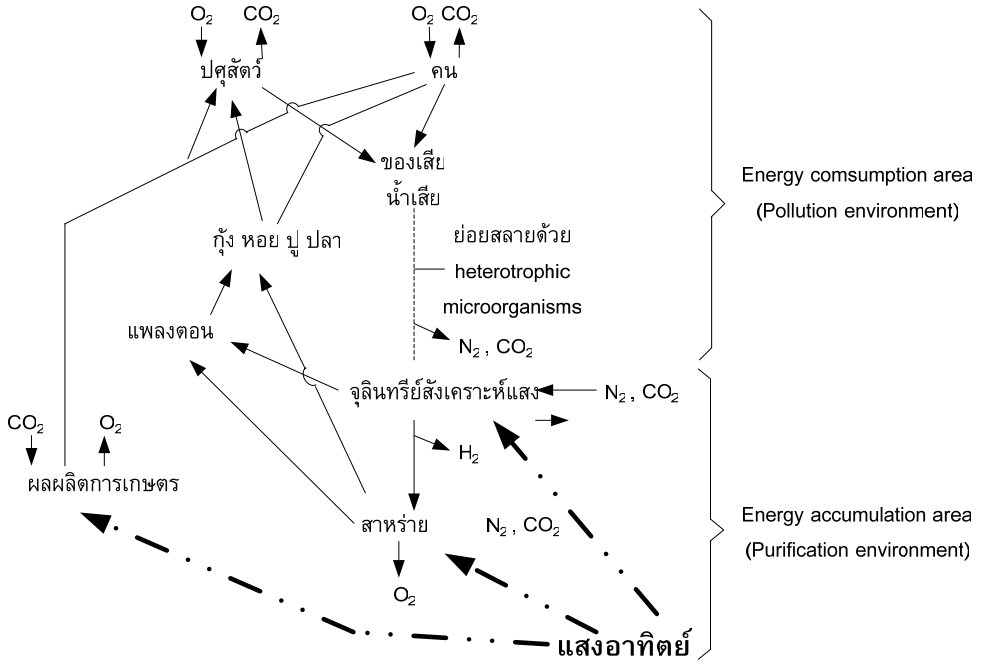
แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

(Photosynthetic Bacteria)

1. บทนำ

แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (photosybthetic bacteria; PSB) พบกระจายทั่วไปในธรรมชาติ ตามแหล่งน้ำจืด น้ำเค็ม ทะเลสาบน้ำเค็ม น้ำทะเลสาบที่มีความเป็นด่าง น้ำที่มีความเป็นกรด น้ำพุร้อน น้ำทะเลบริเวณขั้วโลกเหนือ นอกจากนี้ยังพบตามแหล่งน้ำเสีย บ่อบำบัดน้ำเสีย (levett, 1990; Imhoff, 1992; Brock, 1994) บทบาทของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมีความสำคัญในกระบวนการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ (CO_2 - assimilation) และการตรึงไนไตรเจน (nitrogen fixation) นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในห่วงโซ่อาหารซึ่งสัตว์ขนาดเล็ก ปลา กุ้ง หอย และปู สามารถนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมาใช้เป็นอาหารได้ นอกจากนี้ในน้ำเสียจากบ้านเรือนและน้ำเสียจากการทำปศุสัตว์สามารถบำบัดด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Kobayashi, 2000) ดังแสดงตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บทบาทของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในธรรมชาติ

ที่มา : Kobayachi (2000)

2. การจัดจำแนก (Classification)

โดยทั่วไปจะแบ่งแบคทีเรียสังเคราะห์แสงออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วง (purple photosynthetic bacteria) และ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีเขียว (green photosynthetic bacteria) (Pfenning และ Truper, 1989; Kobayashi, 2000) ดังแสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจัดจำแนกวงศ์,สกุล,สายพันธุ์ของ Phototrophic Bacteria มีดังนี้

ชั้น (Order)	วงค์ (family)	สกุล (Genus)	สายพันธุ์ (species)
Rhodospirillales	Rhodospirillaceae	*Rhodospirillum*	*Rubrum,tenue,fulvum,inolischianum photonietricum*
		Rhodopseudomonas	*Palustris,viridls,acidophilia, gelatinosa,capsulata,sphaeroldes*
		Rhodomicrobium	*vannielii*
	Chromatiaceae	*Chromatium*	*Okenii,weissel,warmingil, buderi, minus,Violascens,vinosum,grac illsimum,minutissium*
		Thiocystis	*violace , gelatrnosa*
		Thiosarcina	*rosea*
		Thiospirillum	*sanguineu , jenens, rosenbergil*
		Thiocapsa	*roseopersicin , pfennigil*
		Lamprocystis	*roseopersicina*
		Thiodictyon	*elegans, bacillosum*
		Thiopedia	*rosea*
		Amoebobacter	*roseus , pendens*
	Ectothiorhodospiraceae	*Ectothiorhofospira*	*mobilis, shaposhnikovil , halophila*
Chlorobiales	Chlorobiaceae	*Chlorbium*	*limicola,vlbrioforme, phaeobacteroides , phaeovibrioides*
		Prosthecochloris	*aestuaril*
		Choropseudomonas	*ethylica*
		Pelodictyon	*ciathratifornie , luteolum*
		Clathrochloris	*sulphurica*

ที่มา : ดัดแปลงจาก Kabayashi (2000); Levett (1990); Imhoff (1992); Pfenning และ Truper (1989)

2.1 แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วง (purple photosynthetic bacteria)

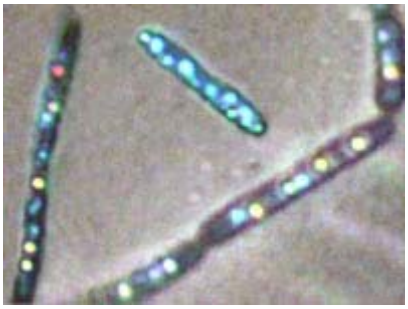
แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ Chromatiaceae ซึ่งเป็นแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วง (ภาพที่ 2) พบว่าสามารถเจริญได้ดีในสภาพโฟโตออโตโทรฟ (photoautotroph) ซึ่งสามารถใช้สารประกอบซัลเฟอร์ ซัลไฟต์ และไทโอซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเพื่อรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นสารอาหารภายในเซลล์ได้ (Imhoff, 1992; Van Niel, 1944) แสดงสมการดังนี้ และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ Chromatiaceae จะสะสมกำมะถันไว้ในเซลล์

$$CO_2 + 2H_2S \xrightarrow{\text{แสงสว่าง}} (CH_2O)+H_2O+2S$$

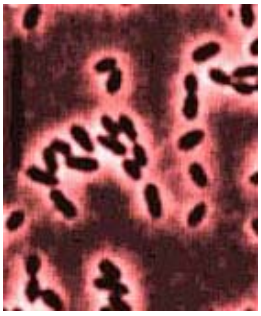
$$S+CO_2+3H_2O \xrightarrow{\text{แสงสว่าง}} (CH_2O)+H_2SO_4+H_2$$

$$2CO_2 + Na_2S_2O_3+3H_2O \xrightarrow{\text{แสงสว่าง}} 2(CH_2O)+ Na_2SO_4 + H_2SO_4$$

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ Rhodospirillaceae (ภาพที่ 2) เป็นแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่สามารถใช้ซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็คตรอนเพื่อรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นสารอาหารภายในเซลล์ได้ และมีการสันดาป (metabolism) ดีกว่าแบคทีเรียม่วงที่ใช้ซัลเฟอร์ เนื่องจากสามารถเจริญได้ทั้งแบบโฟโตเฮเทอโรโทรฟ และโฟโตออโตโทรฟ โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ซึ่งส่วนใหญ่แบคทีเรียกลุ่มนี้จะทนต่อสภาพที่มีออกซิเจน จึงสามารถเจริญได้ภายใต้สภาวะแบบเฮเทอโรโทรฟที่มีอากาศ-ไม่มีแสง มีแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ เอ และแคโรทีนอยด์ หลายชนิดในการสังเคราะห์แสง



(a)

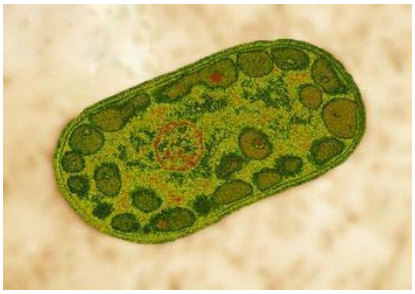


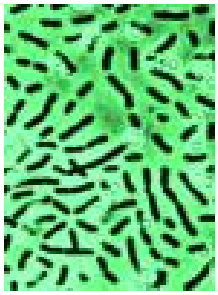
(b)

ภาพที่ 2 a คือ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ Chromatiaceae
b คือ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ Rhodospirillaceae

2.2 แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีเขียว (green photosynthetic bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มนี้จะอยู่ในวงศ์ Chlorobiaceae ซึ่งเป็นแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีเขียว มีลักษณะเซลล์เป็นแบบเส้นสาย ไม่มีระบบอินตราไซโตพลาสมิกเมมเบรน (intracytoplasmic membrane system) มีโครงสร้างพิเศษ คือ คลอโรเบียม (chlorobium vesicle) หรือ คลอโรโซม (chlorosome) จะพบอยู่ภายในไซโตพลาสมิกหรือ ติดอยู่ที่ผิวของไซโตพลาสมิกเมมเบรน คลอโรโซม มีขนาดใหญ่ประกอบด้วย แบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ ซี ดี และ อี และ มีโครงสร้างในการจับพลังงานแสง (light-harvesting) ศูนย์กลางของปฏิกิริยาของแบคทีเรียกลุ่มนี้จะพบอยู่ในไซโตพลาสมิกเมมเบรนอยู่ติดกับคลอโรโซม (Imhoff, 1992) และจะไม่สะสมกำมะถันไว้ในเซลล์ (ภาพที่ 3)





ภาพที่ 3 แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ Chlorobiaceae

3. แบคทีเรียแสงกลุ่มไม่สะสมกำมะถัน

Bergey's Manual of Determinative Bacteriology เล่ม 9 ได้จำแนกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกำมะถันไว้ใน กลุ่มที่ 10 (anoxygenic phototrophic bacteria) กลุ่มย่อย (subgroup) ที่ 3 (purple non-sulfur bacteria) มี 6 สกุล ดังนี้ (Staley และคณะ,1994)

1. *Rhodospirillum*
2. *Rhodopila*
3. *Rhodobacter*
4. *Rhodopseudomonas*
5. *Rhodomicrobium*
6. *Rhodocyclus*

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกำมะถัน พบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติในชั้นน้ำที่มีแสงสว่างส่องถึงมีสารอินทรีย์ และพบการรวมตัวกันเป็นกลุ่มในแหล่งน้ำที่ไม่มีออกซิเจนมีแสงเล็กน้อย ในแหล่งน้ำจืดที่มีซัลไฟด์อยู่จะพบน้อยมาก แต่บางชนิดก็อาศัยอยู่ได้ในที่ที่มีปริมาณซัลไฟด์อยู่สูง (Imhoff, 1992) นอกจากนี้ยังพบได้ในพื้นดิน สระน้ำ คลอง หรือแหล่งน้ำที่สกปรก เช่น บ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง จึงเป็นแหล่งที่แบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่มดังกล่าวเจริญได้ดี โดยทั่วไปจะพบการเจริญอย่างรวดเร็วของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกำมะถัน (Pfenning และ Truper, 1992; Olliver และคณะ, 1994) เช่น การเจริญอย่างรวดเร็วที่พบในประเทศญี่ปุ่น ดังตางรางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการเจริญอย่างรวดเร็วของตัวอย่างการเจริญอย่างรวดเร็วของแบคทีเรีย สังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกำมะถัน

ตัวอย่าง	วัน เดือน ปี	สถานที่	สีของการแพร่กระจาย
1	สิงหาคม 1985	Sludge disposalsite, Tokyo	ชมพู
2	สิงหาคม 1986	Rocky coast, Kanagawa	เขียว
3	กันยายน 1986	Mud flat, Chiba	ชมพู
4	กันยายน 1986	Mud flat, Chiba	แดง

เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้มีการสันดาปดีกว่าแบคทีเรียม่วงที่ใช้ซัลเฟอร์ ซึ่งสามารถเจริญได้ทั้งแบบโฟโตเฮเทอโรโทรฟ และโฟโตออโตโทรฟ โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ซึ่งส่วนใหญ่แบคทีเรียกลุ่มนี้จะทนต่อสภาพที่มีออกซิเจน จึงสามารถเจริญได้ภายใต้สภาวะแบบเฮเทอโรโทรฟที่มีอากาศ-ไม่มีแสง มีแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ เอ และแคโรทีนอยด์ หลายชนิดในการสังเคราะห์แสง ทำให้ปัจจุบันแบคทีเรียสังเคราะห์แสงโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกำมะถันได้รับความสนใจในด้านการศึกษาและวิจัยอย่างกว้างขวาง มีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพกันอย่างแพร่หลาย (Sasikala และคณะ, 1993; Sasikalaและ Ramana, 1995)

การนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่มไม่สะสมกำมะถันไปใช้เพื่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม

1. การใช้แหล่งอาหารเสริมของสัตว์

เซลล์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง อาทิเช่น แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ *Rhodopseudomonas capsulate* เป็นเซลล์ที่มีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 60-65 ซึ่งโปรตีนเหล่านี้ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วน และยังมีวิตามินและแร่ธาตุ เช่น วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 6 กรดฟอลิค วิตามินบี 12 วิตามินซี วิตามินดี และวิตามินอี เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 3 นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุ สารโคแฟคเตอร์เช่น ยูบิควิโนน (Ubiquinone) โคเอนไซม์คิว (Coenzyme-Q) ประกอบอยู่ด้วย จึงเหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งอาหาร

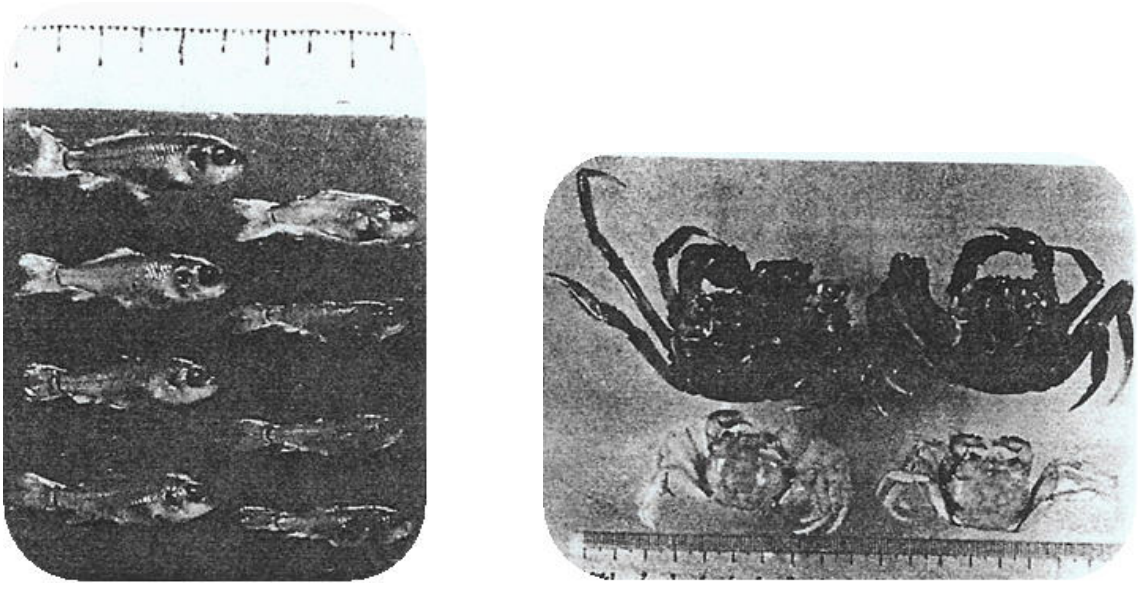
ตารางที่ 3 แสดงส่วนประกอบและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็น และ วิตามิน ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสงสายพันธุ์ *Rhodopseudomonas capsulate*

สารสำคัญ	ส่วนประกอบ	ปริมาณ
กรดอะมิโน	Lysine	2.86
(กรัมต่อ100กรัมน้ำหนักแห้ง)	Histidine	1.25
	Arginine	3.34
	Aspartic	4.5W6
	Threonine	2.70
	Serine	1.68
	Glutamic acid	5.34
	Proline	2.80
	Glycine	2.41
	Alanine	4.65
	Valine	3.51
	Methionine	1.58
	Isoleucine	2.64
	Leucine	4.50
	Trypsine	1.71
	Phenylalanine	2.60
	Tryptophan	1.09
วิตามิน	วิตามินบี 1	0.21
(มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	วิตามินบี 2	0.25
	วิตามินบี 6	0.025
	วิตามินบี 12	0.105
	วิตามินซี	0.20
	วิตามินดี	0.10
	วิตามินอี	0.0312

Kabayashi และ Kurata (1978) ได้ทดลองผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในอาหารเลี้ยงไก่ในปริมาณ 0.01 – 0.04 เปอร์เซ็นต์ในรูปของเซลล์สด ซึ่งพบว่าไก่จะเริ่มไข่เร็วขึ้น ระยะเวลาในการให้ไข่มากขึ้น คุณภาพของไข่ดีขึ้น สีของไข่แดงขึ้น น้ำหนักไข่และน้ำหนักตัวดีขึ้นและอัตราการใช้อาหารของไก่ดีขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังได้มีการนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมาผสมในอาหารปลาสวยงาม เช่นในอาหารเลี้ยงปลาทองเมื่อนำเอาแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ *Rhodobactor gelatinosa* ซึ่งมีปริมาณโปรตีนอยู่ร้อยละ 57.93 และยังมีวิตามินและกรดอะมิโนที่จำเป็นในปริมารมาก เช่น วิตามินบี 12 วิตามินอี เมไทโอนีน และไลซีน ซึ่งลักษณะการผสมจะผสมในรูปเซลล์สด โดยทดแทนปลาป่น 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าช่วยให้การเจริญของปลาดีขึ้น มีอัตราการอยู่รอดร้อยละ 96.3 และทำให้ไข่สุกเร็วขึ้น (สาวิตร, 2530) นอกจากนี้ยังมีการนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสงสายพันธุ์ *Rhodobacto sphaeroides* ไปผสมในอาหารเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ พบว่าปลามีสีเข้มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

การเลี้ยงกุ้ง พบว่า โรคเหงือกกุ้ง (gill decease) ซึ่งทำให้เกิดการเสียหายเป็นอย่างมาก แต่เมื่อใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง เช่นสายพันธุ์ *Rhodobacter capsulatus* จะช่วยลดโรคต่างๆ ที่เกิดจากเชื้อไวรัสได้ นอกจากนี้

ลูกกุ้ง ลูกปลาชนิดต่างๆ เช่น ปลาทอง ปลาคาร์พ ปู และหอยแครง สามารถกินแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสงได้โดยตรงหลังจากฟักออกจากไข่ ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักและอัตราการรอดตายเป็น 2 เท่ากว่าการไม่ได้กินแบคทีเรียสังเคราะห์แสงหลังจากฟักออกจากไข่ แสดงดังภาพที่ 4 แสดงการบ่อเลี้ยงกุ้งที่ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง



(a) (b)

ภาพที่ 4 แสดงผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตของปลาและปูเมื่อใช้จุลินทรีย์เป็นอาหาร

(a) ซ้าย : ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง , ขวา : ไม่ได้ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

(b) บน : ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง , ล่าง : ไม่ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

ตารางที่ 4 แสดงผลของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสงต่อการรอดชีวิตของลูกปลาคาร์พ

	ปริมาณการรอดชีวิตหลังฟัก 1 เดือน	สัดส่วนการรอดตาย
ชุดควบคุม	2,772	69.3
อาหารที่ประกอบด้วย PTB [a] 0.1%	3,860	96.5

[a] PTB (แบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสง) ผลิตจากน้ำเสียโรงงานผลิตเนื้อปลากระป๋อง

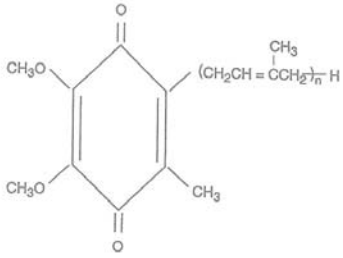
ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อผสมเซลล์ที่มีชีวิตของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสงในอาหารเลี้ยงลูกปลาคาร์พในสัดส่วน 0.1% พบว่าอัตราการรอดตายสูงขึ้นมากกว่าไม่ได้เติมแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสงในอาหารเลี้ยงลูกปลา เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์จากของเสียที่ลูกปลาผลิตออกมา เมื่อสะสมในปริมาณมากจะเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของลูกปลา แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถเปลี่ยนไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้อยู่ในรูปสารประกอบซัลเฟอร์ที่ไม่เป็นพิษต่อลูกปลา

กลุ่มบริษัท Premium Aquatics Inc. ซึ่งผู้ผลิตอาหารและอุปกรณ์เสริมสำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในอินเดียนาโปลิส ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ผลิตเชื้อผสมของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 4 สายพันธุ์ คือ *Rhodospseudomonas palustris, Rhodobacter sphaeroides, Rhodobacter capsulatus* และ *Rhodospirillium rubrum* เพื่อเป็นอาหารเสริมสำหรับเลี้ยงปลาภายใต้ชื่อทางการค้าว่า sr-PSB™ และ AZOO SUPER RED PHOTOSYNTHETIC BACTERIA ดังแสดงตามภาพ 5 ซึ่งอุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน แร่ธาตุต่างๆ วิตามินบี 1 วิตามีนบี 2 วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 nicotinic acid, folic acid, pantothenic acid และ biotin เป็นต้น จากรายของบริษัทได้รายงานว่า sr-PSB™ จะช่วยให้ปลาเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ช่วยเพิ่มสีสันให้กับปลา นอกจากนี้ยังช่วยย่อยสารอินทรีย์ที่เป็นของเสียในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาและยังยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคได้อีกด้วย

ภาพที่ 5 AZOO SUPER RED PHOTOSYNTHETIC BACTERIA

2. การใช้ในทางการแพทย์

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถสังเคราะห์ยูบิควิโนน (ubiquinone ; UQ_{10}) (ภาพที่ 6) ขึ้นภายในเซลล์ได้ โดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่นิยมนำมาใช้ผลิต เช่น *Rhodocyclus gelatinosus Rhodobacter capsulatus Rhodospirillum rubrum* ฯลฯ ซึ่งยูบิควิโนนที่สกัดจากแบคทีเรียสังเคราะห์แสงนำมาเป็นอาหารเสริมในผู้ป่วยโรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด นอกเหนือจากการนำ UQ_{10} มาเป็นอาหารเสริมแล้วยังมีผู้สนใจในฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชั่น (antioxidant) และเป็นสารธรรมชาติที่ร่างกายมนุษย์สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เองของ UQ_{10} มาใช้ในทางเครื่องสำอางสำหรับลดการเกิดริ้วรอย ชะลอการเสื่อมของเซลล์ผิวหนังจากแสงแดด (photo aging)



ภาพที่ 6 โครงสร้างของยูบิควิโนน (ubiquinone ; UQ_{10})

3. การใช้ในการบำบัดน้ำเสียและของเสีย

เนื่องจากแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกำมะถัน สามารถย่อยสลายสารประกอบภายในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนและมีออกซิเจนจึงสามารถนำไปบำบัดน้ำเสียและของเสียกลับมาใช้ได้อีก ฉะนั้นแหล่งน้ำเสียสามารถใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่มนี้บำบัดได้จึงมีมากมาย โดยทั่วๆไปจะเป็นน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ น้ำเสียทางการเกษตร น้ำเสียจากอุตสาหรรมอาหาร น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน น้ำเสียจากอุตสาหกรรมการใช้จุลินทรีย์ เช่น ผลิตเบียร์ ยาปฏิชีวนะ ฯลฯ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมทางเคมีและปิโตเลียม และอุตสาหกรรมของเสียในรูปก๊าซต่างๆ เป็นต้น ซึ่งแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกำมะถันที่นิยมนำมาให้ในการบำบัดของเสียต่างๆจะอยู่ในสกุล *Rhodopseudumonas Rhodobacter Rhodospirillum* และ *Rhodocyclus* โดยที่แบคทีเรียสังเคราะห์กลุ่มไม่สะสมกำมะถันดังกล่าว จะทำ าให้น้ำ าเสีย มีคุณภาพดีขึ้นได้โดย

1. ช่วยลดค่า BOD, COD และ TOC (totalorganic carbon) สามารถลดได้ถึง 20-99 เปอร์เซ็นต์
2. ย่อยสลายสารประกอบที่เป็นพิษต่าง ๆ มากมาย
3. ย่อยสลายสารประกอบ อะโรมาติค (aromatic)
4. เคลื่อนย้ายพวกคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)
5. เกิดกระบวนการ denitrification และ deammonification ทำให้ช่วยลดแอมโมเนียและไนเตรทที่เป็นปัญหาในการบำบัดน้ำเสียได้

จารุวรรณ (2532) ได้นำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงไปใช้บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานมันสำปะหลัง พบว่าสามารถลดค่าซีโอดี(ค่าความสกปรกของน้ำเสีย)ได้มากถึง 94.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้แบคทีเรียเป็นหัวเชื้อในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความสามารถในการกำจัดความสกปรกในน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้นเป็น 96.45 เปอร์เซ็นต์

Kobayashi และคณะ (1971) ได้นำแบคทีเรียสังเคราะห์สีม่วงในกลุ่มไม่สะสมกำมะถัน กำจัดน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดี (BOD) มากกว่า 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่ต้องเจือจางน้ำเสียเป็นเวลา 1 สัปดาห์ โดยใช้วิธีการเลี้ยงแบบให้อากาศและมีแสง ซึ่งพบว่าสามารถลดค่า BOD ได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Sawada และคณะ (1977) ได้ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง *R. Capsulata* บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสัตว์ พบว่าสามารถลดค่าบีโอดีจาก 3,030 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 140 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสภาพไร้อากาศและมีแสง เปรียบเทียบกับการบำบัดโดยไม่ใส่เชื้อ *R. Capsulata* ค่าบีโอดีลดจาก 3,480 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 370 มิลลิกรัมต่อลิตร

Chaung และ Lai (1978) ทดลองกำจัดน้ำเสียจากการผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ซึ่งการกำจัดจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกใช้ยีสต์ ขั้นตอนที่สองเป็นการสร้างมีเทนด้วยแบคทีเรียและขั้นตอนสุดท้ายใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง โดยเลี้ยงในสภาพวะมีอากาศและไร้แสงในถังหมักแบบต่อเนื่อง พบว่าบีโอดีจาก 9,100 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือเพียง 380 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 95.82 เปอร์เซ็นต์

ในการนำแบคทีเรียสังเคราะห์มาบำบัดน้ำเสีย พบว่าการบำบัดน้ำเสียโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร่วมกับจุลินทรีย์อื่นๆ ช่วยให้การเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงและประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียดีขึ้น ซึ่ง Sawada และคณะ (1977) ได้รายงานว่าเมื่อนำ *R.Capsulata* และ *Klebsiella* sp.มาบำบัดน้ำเสียพบว่าการสลายตัวของเซลล์ *Klebsiella* sp. จะกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

Ecological Laboratory Inc. ซึ่งผู้ผลิตอาหารและสารเคมีสำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ผลิตสารบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง ภายใต้ชื่อทางการค้าว่า MICROBE-LIFTPL (ภาพที่ 7) ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติในการย่อยสารอินทรีย์ที่เป็นของเสียในบ่อเลี้ยงปลา ช่วยลดระดับแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงปลา ลดกลิ่นที่เกิดจากก๊าซไนโตรเจนซัลไฟต์

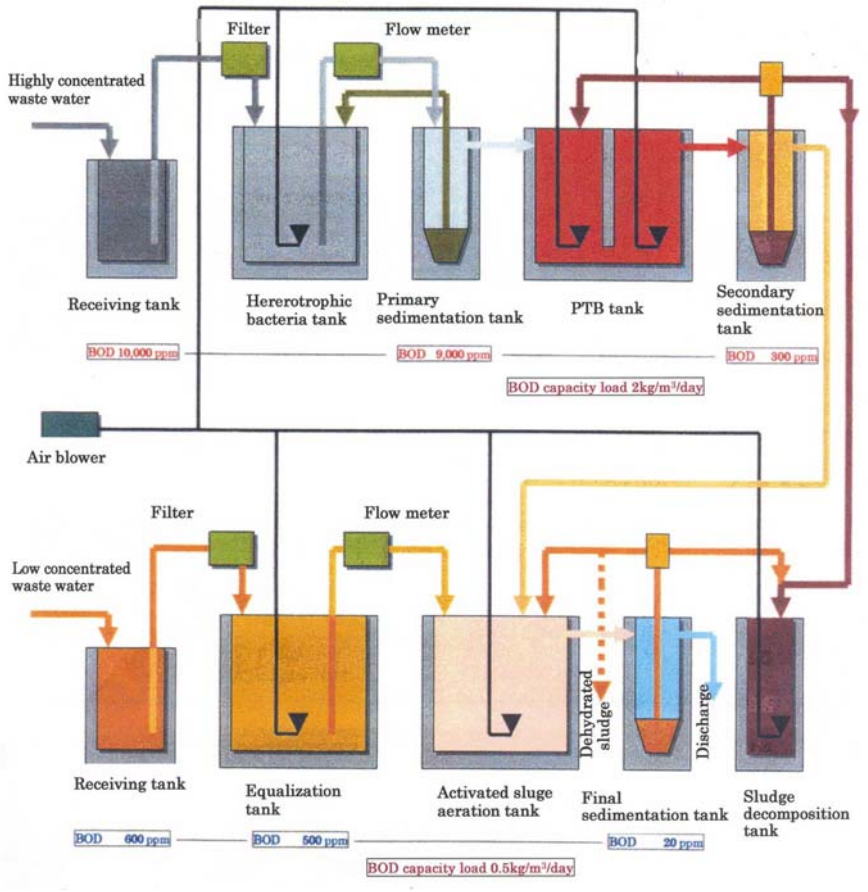
ภาพที่ 7 MICROBE-LIFTPL

Snow Brand Seed Co., Ltd. เป็นบริษัทที่ผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์เพื่อสิ่งแวดล้อมในญี่ปุ่น ได้ผลิตหัวเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ใช้บำบัดน้ำเสียและกลิ่นที่เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟต์ แอมโมเนีย และอามีน ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ภายใต้ชื่อทางการค้าว่า BIOMATE (ภาพที่ 8)

ภาพที่ 8 BIOMATE

จากการวิจัยของ Prof. Dr. MICHIHARU KOBAYACHI พบว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถทำให้สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียลดลง และสามารถลดความเป็นพิษของสาร dimethylnitrosamine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ก่อการกลายพันธุ์ และ ก่อให้เกิดความผิดปกติในเด็กทารก ดังนั้น PSB จึงมีบทบาทสำคัญหลายประการต่อสิ่งแวดล้อม

โรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตขนมหวานจากเกาลัด ณ เมืองมัตสึโมโตะ จ.นากาโน่ ประเทศญี่ปุ่น ได้ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยคุณสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบของโรงงานมีปริมาณค่า BOD น้ำเข้าประมาณ 3000 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งแหล่งของน้ำเสียจะมาจากน้ำซาวข้าวและน้ำล้าง ซึ่งเป็นส่วนของกระบวนการผลิต ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงไปใช้ประกอบด้วย 3 ส่วน ประกอบด้วย ดังแสดงตามภาพที่ 9 และ 10



ภาพที่ 9 แสดงรายละเอียดระบบบำบัดน้ำเสียด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสง

ส่วนที่ 1 น้ำเสียจะถูกผ่านเข้าไปยังเครื่องกรอง (filter) ดังแสดงตามภาพที่ 11 ซึ่งใช้กรองของแข็งแปลกปลอมที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ในระบบบำบัดน้ำเสีย และถังเติมอากาศขั้นแรก (heterotrophic bacteria tank) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะย่อยสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่โดยใช้กระบวนการ decarboxylation (ดึงหมู่ carboxyl groupในโปรตีนออก) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เตรียมพร้อมสำหรับจะถูกบำบัดด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง ในขั้นนี้จะมีการให้อากาศอย่าง 24 ชั่วโมงและเวลาในการตกตะกอนประมาณ 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง และเมื่อตกตะกอนได้น้ำใสประมาณ 80 % ของน้ำเสียทั้งหมดก็จะมีการเคลื่อนย้ายต่อไปที่ยังส่วนที่สอง การตกตะกอนในส่วนที่หนึ่ง อาจใช้การบำบัดอย่างต่อเนื่องโดยมีการเติมน้ำเสียและให้อากาศทำซ้ำ ๆ กันอย่างต่อเนื่องได้ ดังแสดงตามภาพที่ 12

ส่วนที่ 2 ซึ่งน้ำเสียจากส่วนที่หนึ่งจะถูกเคลื่อนย้ายมายังถังปฏิกิริยาที่มีแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนเจริญอยู่ซึ่งอยู่ร่วมกับแบบ symbiosis ถังปฏิกิริยาควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจน (DO) ในน้ำตั้งแต่ 3 ถึง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งตอนกลางวันให้แสงโดยแสงอาทิตย์ ส่วนตอนกลางคืนจะใช้แสงไฟ สภาพของน้ำเสียในถังปฏิกิริยาจะมีสีแดงซึ่งแสดงว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสงเจริญดี ดังแสดงตามภาพที่ 13 ในระหว่างการบำบัดในส่วนที่สองจะเกิดแบคทีเรียชนิดอื่นเป็นผลิตผลพลอยได้ (by–product) ช่วยในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งปนเปื้อน ช่วงเวลาที่คงอยู่ในถัง (staying time) ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะประมาณ 3 ถึง 5 วัน แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ได้จากถังตกตะกอนในส่วนที่สองสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์และปุ๋ยได้ ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากส่วนที่สองจะถูกส่งต่อไปยังส่วนที่ 3

ส่วนที่ 3 ในส่วนดังกล่าวจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งแบบธรรมดา (conventional activated sludge) ประกอบด้วยถังปฏิกิริยาและถังตกตะกอน ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานที่มีค่า BOD ไม่สูงจะถูกส่งมายังส่วนที่ 3 โดยไม่ผ่านส่วนที่สอง

ลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสงพบว่าค่า BOD เท่ากับ 10 ถึง 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และลักษณะของน้ำที่ออกจากระบบจะใสไม่มีสีและไม่มีกลิ่น ดังแสดงตามภาพที่ 14

ภาพที่ 10 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสง

ภาพที่ 11 เครื่องกรอง (filter)

ภาพที่ 12 แสดงส่วนประกอบของส่วนที่หนึ่งของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสง

ภาพที่ 13 ลักษณะของน้ำเสียที่แบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสงเจริญเติบโตอย่างเต็มที่

ภาพที่ 14 ลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

4. การใช้ในการเกษตร

การผลิตฮอร์โมนพืชแบคทีเรียสังเคราะห์แสงเช่น ไซโตไคนิน (cytokinin) ผลิตจาก *Rhodospirillum rubrum*, ไคเนติน (kinetin) และ ซีเอติน (zeatin) ซึ่งผลิตโดย *Rhodobacter sphaeroides* นอกจากนี้ยังมี ออกซิน (auxin), กรดอินโดล-3- อะซิติก (indole-3-acetic acid ; IAA) และกรดอินโดล-3-บิวทีริก (indole-3-butyric acid ; IBA) ผลิตจาก *Rhodobacter sphaeroides*

สารกำจัดวัชพืช และยาฆ่าแมลงชีวภาพเช่น 5-aminolevulinic acid (ALA) ซึ่งแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกำมะถันที่ผลิตสารนี้ เช่น *Rhodobacter palustris* (ได้ ALA 750 nmol) , *Rhodobacter sphaeroides* (ได้ ALA 2,000-4,000 nmol)

การนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงไปใช้สำหรับการเพาะปลูกข้าว Maki (2004) ได้รายงานว่า ดินในบริเวณรากข้าวในระยะข้าวตั้งท้องจะมีสภาวะแบบไม่มีออกซิเจนทำให้แบคทีเรียที่ในกลุ่มแอนแอโรบิกแบคทีเรียเจริญได้ดี สร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ขึ้นมา ทำให้มีผลไปยับยั้งกระบวนการสร้างเมตาโบลิซึมของรากข้าวซึ่งเป็นพิษต่อราก แต่เมื่อนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมาใส่ลงในดินในระยะเวลาดังกล่าว แบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะเปลี่ยนไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้อยู่ในรูปสารประกอบซัลเฟอร์ที่ไม่เป็นพิษต่อราก จึงมีผลให้รากของต้นข้าวเจริญงอกงามมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและลักษณะของต้นข้าวก็มีความแข็งแรง ดังแสดงตามภาพที่ 15 ซึ่งมีผลให้ผลผลิตของข้าวมากขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงตามตารางที่ 5

ภาพที่ 15 แสดงรากข้าวและแปลงปลูกข้าวที่ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

ตารางที่ 5 ผลผลิตของข้าวเมื่อใช้และไม่ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการเพาะปลูก

	น้ำหนักของข้าวก่อนสี กก.ต่อ 10 เอเคอร์
ควบคุม (ใช้ปุ๋ยเคมี)	425.1
ทรีตเมนต์ 1 (ปุ๋ยหมัก)	877.4
ทรีตเมนต์ 2 (ปุ๋ยหมักและแบคทีเรียสังเคราะห์แสง[a])	1056.7

[a] *Rhodobactor capsulatus*

ที่มา : ดัดแปลงจาก Kabayashi (2000)

ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่ผลิตจากแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่มีรงควัตถุ (pigment) ประเภทแคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นส่วนประกอบภายในเซลล์ เมื่อนำมาใช้จะช่วยเพิ่มปริมาณแคโรทีนในพืชเช่นต้นส้มจีน (tangerine trees) ต้นพลัม (persimmon tree) ต้นมะเขือเทศ และ ต้นข้าวโพด ซึ่ง Kabayashi (2000) มีการศึกษาใช้เซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพใส่ในต้นพลัม เมื่อศึกษาดูองค์ประกอบของผลและเปลือก พบว่าไม่เพียงแต่ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเท่านั้นยังทำให้ลูกพลัมมีความหวานและความมันวาวด้วยเมื่อเทียบกับที่ใช้เพียงปุ๋ยอนินทรีย์เพียงชนิดเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไลโคปีน (lycopene) ในลูกพลัมจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงตามตารางที่ 6 เนื่องจากรงควัตถุที่อยู่ในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะถูกย่อยกลายเป็นโมเลกุลเล็กๆ ทำให้รากพืชสามารถดูดไปใช้สร้างรงควัตถุให้กับผลได้

ตารางที่ 6 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในผลพลัม

	β-carotene	Lycopene	Cryptoxanthin	Zeaxanthin	Total contents of carotenoid pigment
Control (Inorganic fertilizer)	3.108	2.773	13.018	7.682	26.581
Treatment (Organic fertilizer)[a]	2.929	4.237	15.667	8.970	31.803

[a] Photosynthetic bacteria cells

ที่มา : Kabayashi (2000)

เอกสารอ้างอิง

จารุวรรณ หวะสุวรรณ . 2532. การกำจัดและการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร่วมกับheterotrophic bacteria.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

Brock, T.D., M.T. Madigan, J. M. Martinko and J. Parker. 1994. Biology of Microorganisms. 7th ed., Prentice-Hall International, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 909 p.

Imhoff, J. F. 1992. Taxonomy, phylogeny, and general ecology of anoxygenic phototrophic baeteria,. *In* N. H. Mann, and N. G. Carr (ed.). Photosynthetic Prokaryotes. Vol.6. Plnum Press, Now York and Londan. pp. 53-92

Kobayashi, M. and S.I. Kurata. 1978. The mass culture and cell utilization of photosynthetic bacteria. Process Biochem. 13(9) : 27-30.

Kobayashi. M. 2000. Waste Remediation and Treatment Using Anoxygenic Phototropic Bacteria. Anoxygenic Photosynthetic Bacteria. Pp. 1269 – 1282.

Levett, P.N. 1990. Anaerobic Bacteria a Functional Biology. St Edmunds bury Press Ltd. Philadelphia. 116 p.

Maki, T. 2004. Aurace PSB and G2 for Nursery. Matsumoto Institute of Microorganism Co.. Ltd.

Olliver, B. 1994. Anaerobic bacteria from hypersaline environments. Microbiol. Rev. 58(1) : 27-38.

Pfenning, N. and H.G.Truper. 1989. Anoxygenic phototrophic bacteria, pp. 1635-1682. *In* J.T. Staley, M.P. Bryant, N. Pfennig and T.G. Holt (eds.). Bergey's Manual of Systemetic Bacteriology. Vol.3. The William and Wilkins, Co., Baltimore.

Sasikala, K.,CH.V. Ramana, P. Raghuveer and K.L. Lovacs. 1993. Anoxygenic photrophic bacteria : physiology and advances in hydrogen product echnology, pp. 211-295. *In* S. Neidleman and A.I. Leskin (eds.). Advances in Applied Microbiology. Vol. 38. Academic Press, San Diego.

Sasikala, C. and C.V. Ramara. 1995. Biotechnological potentials of anoxygenic phototrophic bacteria I and II, pp. 173-227. *In* S.L. Neidleman and A.J. Laskin (eds.). Advances Applied Microbiology. Vol. 41. Academic Press, San Diego.

Staley, J.T., M.P. Bryant, N. Pfenning and J.G. Holt (eds.). 1994. Bergey' s Manual of Determinative Bacteriology. 9th ed. The Williams and Wilkins, Co., Baltimore. 754 p.