บทที่ 4
ผลการทดลอง และวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองศึกษาข้าวแดงที่ได้จากการหมักโดยเชื้อรา *Monascus purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าว 3 ชนิด

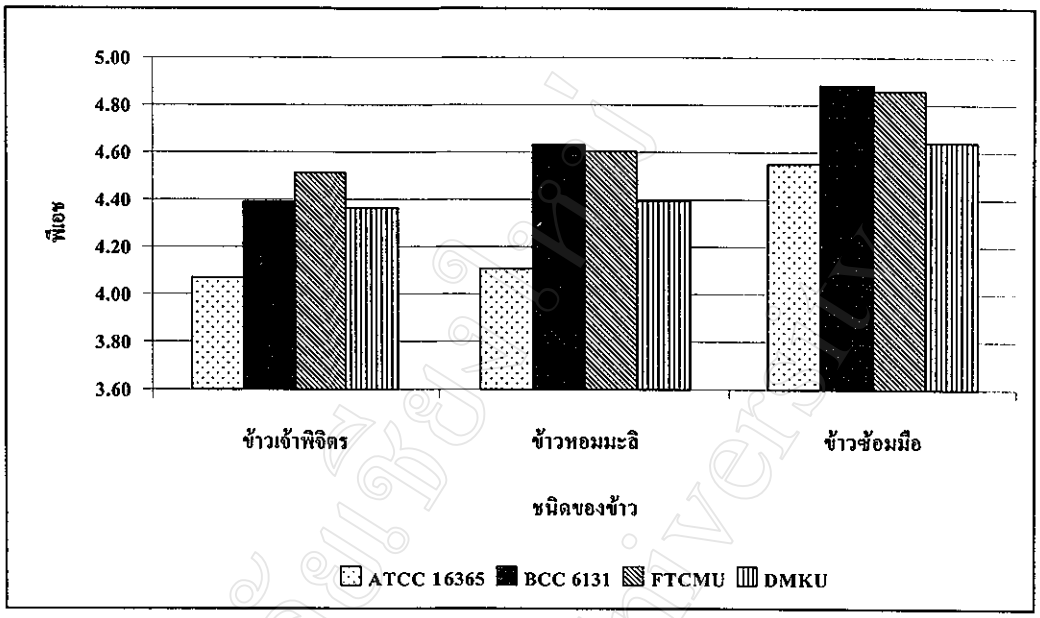
การทดลองนี้ใช้ข้าวเจ้าพิจิตร ข้าวหอมมะลิ และข้าวซ้อมมือ เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อรา โมแนสคัส 4 สายพันธุ์คือ *M. purpureus* ATCC 16365, BCC 6131, FTCMU และ DMKU ได้ผล ดังนี้คือ

4.1.1 ปริมาณอมิโลสในข้าว 3 ชนิด

พบว่าปริมาณอมิโลสของข้าวเจ้าพิจิตร ข้าวหอมมะลิ และข้าวซ้อมมือมีค่าเท่ากับ 28.45, 17.57 และ 9.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยข้าวที่มีปริมาณอมิโลส 25-34 เปอร์เซ็นต์เป็นข้าวอมิโลสสูง สำหรับข้าวที่มีปริมาณอมิโลส 10-20 เปอร์เซ็นต์ เป็นข้าวอมิโลสต่ำ (งามชื่น, 2543) ดังนั้นข้าวเจ้าพิจิตรจึงจัดเป็นข้าวประเภทที่มีอมิโลสสูง ส่วนข้าวหอมมะลิและข้าวซ้อมมือเป็นข้าวอมิโลสต่ำ

4.1.2 ค่าพีเอชของข้าวแดงที่หมักโดยใช้เชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ในข้าว 3 ชนิด

จากการทดลองพบว่าทั้งชนิดของข้าวและสายพันธุ์เชื้อรามีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าพีเอชของข้าวซ้อมมือ ข้าวหอมมะลิ และข้าวเจ้าพิจิตรมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.73, 4.43 และ 4.33 ตามลำดับ ในขณะที่สายพันธุ์เชื้อรา *M. purpureus* ที่ให้ค่าพีเอชจากสูงไปต่ำคือ FTCMU, BCC 6131, DMKU และ ATCC 16365 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเป็น 4.65, 4.63, 4.47 และ 4.24 ตามลำดับ โดยสายพันธุ์ FTCMU และ BCC 6131 ให้ค่าพีเอชของข้าวแดงไม่แตกต่างกัน นอกจากนั้นพบว่าทั้งสายพันธุ์เชื้อราและชนิดของข้าวยังมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าพีเอชของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือข้าวแดงที่หมักจากเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ร่วมกับข้าวเจ้าพิจิตรให้ค่าพีเอชต่ำที่สุดเท่ากับ 4.07 และข้าวแดงที่หมักจากเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 ร่วมกับข้าวซ้อมมือให้ค่าพีเอชสูงสุดเท่ากับ 4.88 (รูปที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.1) และจากการทดลองพบว่ากระบวนการหมักข้าวแดงจะทำให้พีเอชของข้าวลดลงจากช่วงระหว่าง 6.43-6.67 เหลือ 4.07-4.88 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก



รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของข้าวแดงที่หมักโดยเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าว 3 ชนิด ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าพีเอชของข้าวแดงจากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าว 3 ชนิดที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

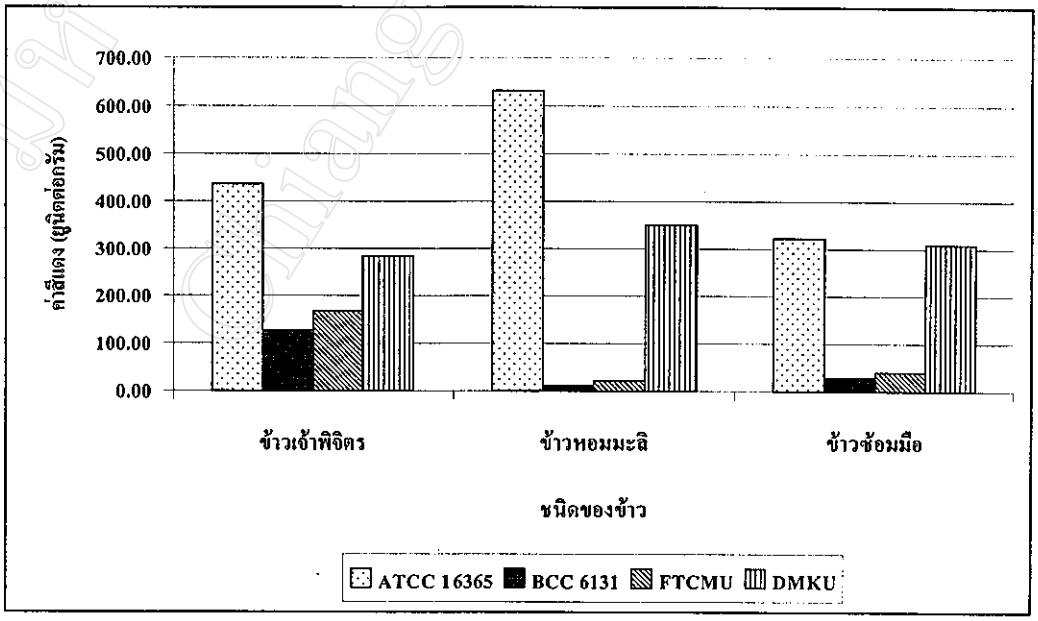
สายพันธุ์เชื้อราโมแนสคัส	ค่า pH (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		
	ข้าวเจ้าพิจิตร	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวช้อมมือ
ATCC 16365	$4.07^{a}\pm0.03$	$4.11^{b}\pm0.05$	$4.55^{c,d}\pm0.04$
BCC 6131	$4.39^{b}\pm0.04$	$4.63^{e}\pm0.06$	$4.88^{f}\pm0.03$
FTCMU	$4.51^{c}\pm0.04$	$4.60^{d,e}\pm0.03$	$4.86^{f}\pm0.06$
DMKU	$4.36^{b}\pm0.02$	$4.39^{b}\pm0.03$	$4.64^{e}\pm0.02$

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแต่ละช่องตารางที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

4.1.3 ค่าสีแดงของข้าวแดงที่หมักโดยใช้เชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าว 3 ชนิด

ก. ค่าสีแดงที่ได้จากการวัดโดยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (ยูนิตต่อกรัม)

ข้าวแดงที่ผลิตโดยการหมักเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวหอมมะลิให้ค่าสีแดงสูงที่สุดเท่ากับ 632 ยูนิตต่อกรัม ขณะที่เชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 ซึ่งทำการหมักในข้าวหอมมะลินั้นให้ค่าสีแดงต่ำที่สุดเท่ากับ 11.8 ยูนิตต่อกรัม และเมื่อเปรียบเทียบการหมักในข้าวชนิดเดียวกัน พบว่าสายพันธุ์ที่ให้ค่าสีแดงเรียงลำดับจากสูงไปต่ำ คือ ATCC 16365, DMKU, FTCMU และ BCC 6131 ตามลำดับ แสดงว่าเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 และ DMKU สามารถเจริญในอาหารที่มีความหลากหลายสูงกว่าเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU และ BCC 6131 และพบว่าข้าวเจ้าพิจิตรเป็นข้าวชนิดเดียวที่เชื้อรา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารในการผลิตสีแดงได้ในปริมาณสูงเป็นที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับข้าวชนิดอื่น คือ เกินกว่า 100 ยูนิตต่อกรัม ขณะที่ข้าวหอมมะลิและข้าวซ้อมมือเป็นอาหารที่ไม่เหมาะสมในการผลิตข้าวแดงโดยเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 และ FTCMU เนื่องจากได้ค่าสีแดงต่ำกว่า 40 ยูนิตต่อกรัม (รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 ค่าสีแดงของข้าวแดงที่ได้จากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าว 3 ชนิด ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

ชนิดของข้าวและสายพันธุ์เชื้อรามีอิทธิพลร่วมกันต่อการสร้างสีแดงของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.2) เมื่อเปรียบเทียบการหมักในข้าวชนิดเดียวกัน เชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ให้ค่าสีแดงสูงสุดในข้าวทั้ง 3 ชนิด คือข้าวเจ้าพิจิตร ข้าวหอมมะลิ และข้าวซ้อมมือ ซึ่งมีค่าสีแดงเท่ากับ 432.27, 632.00 และ 322.67 ยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการหมักด้วยเชื้อราชนิดเดียวกัน พบว่าข้าวเจ้าพิจิตรจะให้ค่าสีแดงสม่ำเสมอที่สุดทั้งในการหมักด้วยเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365, BCC 6131, FTCMU และ DMKU โดยมีค่าสีแดงเท่ากับ 436.27, 126.27, 167.40 และ 284.40 ยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของค่าสีแดงที่ได้จากการหมักในข้าวต่างชนิดกันอาจเกิดจากปริมาณอมิโลสที่แตกต่างกันในเมล็ดข้าวแต่ละชนิด ปริมาณอมิโลสมีอิทธิพลต่อการผลิตสีของข้าวแดง คือข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูงจะมีความเหมาะสมต่อการผลิตข้าวแดงมากกว่าข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ (อรัญ และคณะ, 2531) ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณอมิโลสพบว่า ข้าวหอมมะลิ และข้าวซ้อมมือมีปริมาณอมิโลสเท่ากับ 17.57 และ 9.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับซึ่งจัดเป็นข้าวอมิโลสต่ำ ขณะที่ข้าวเจ้าพิจิตรมีปริมาณอมิโลสเท่ากับ 28.45 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็นข้าวอมิโลสสูง

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าสีแดงของข้าวแดงจากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ในข้าว 3 ชนิด ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

สายพันธุ์เชื้อราโมแนสคัส	ค่าสีแดง (ยูนิตต่อกรัม) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		
	ข้าวเจ้าพิจิตร	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวซ้อมมือ
ATCC 16365	$436.27^{d} \pm 11.98$	$632.00^{c} \pm 8.00$	$322.67^{c} \pm 10.07$
BCC 6131	$126.27^{b} \pm 9.82$	$11.80^{a} \pm 0.08$	$28.73^{a} \pm 5.66$
FTCMU	$167.40^{b} \pm 11.02$	$21.37^{a} \pm 3.90$	$39.90^{a} \pm 5.90$
DMKU	$284.40^{c} \pm 10.38$	$350.27^{c} \pm 10.28$	$309.33^{c} \pm 7.29$

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแต่ละช่องตารางที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อสังเกตอัตราส่วนการสร้างสีแดง สีส้ม และสีเหลือง พบว่าการหมักเชื้อรา *M. purpureus* DMKU มีอัตราการสร้างสีส้มในปริมาณสูง ทั้งในข้าวหอมมะลิ ข้าวซ้อมมือ และข้าวเจ้าพิจิตร เท่ากับ 47, 37 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การหมักเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 จะมีอัตราการสร้างสีเหลืองสูงทั้งในข้าวหอมมะลิ ข้าวซ้อมมือ และข้าวเจ้าพิจิตร เท่ากับ 39, 49 และ 38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 และ FTCMU อัตราการสร้างสีแดง ส้ม และเหลือง จะขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวที่ใช้หมัก และเมื่อสังเกตจากชนิดของข้าวที่ใช้หมัก พบว่าข้าวซ้อมมือมีแนวโน้มที่จะให้ข้าวแดงที่มีอัตราส่วนของสีเหลืองสูง คือเมื่อหมักด้วยเชื้อรา *M. purpureus* สายพันธุ์ ATCC 16365, BCC 6131 และ FTCMU จะมีค่าอัตราส่วนของสีเหลืองเท่ากับ 43, 49 และ 48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เมื่อหมักด้วยเชื้อรา *M. purpureus* DMKU อัตราการสร้างสีเหลืองจะใกล้เคียงกับสีแดง และสีส้ม ขณะที่อัตราสีแดง สีส้ม และสีเหลืองของข้าวแดงที่ได้จากการหมักเชื้อราในข้าวเจ้าพิจิตร และข้าวหอมมะลิจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเชื้อราที่ใช้หมัก (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการสร้างสีแดง ส้ม และเหลือง ของข้าวแดงที่ได้จากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ในข้าว 3 ชนิดที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

สายพันธุ์เชื้อรา	ชนิดข้าว	ค่าสี (ยูนิตต่อกรัม)			อัตราส่วนการสร้างสี
		สีแดง (500 nm)	สีส้ม (470 nm)	สีเหลือง (400 nm)	สีแดง : สีส้ม : สีเหลือง
ATCC 16365	ข้าวหอมมะลิ	632.00	726.67	628.00	0.32 : 0.37 : 0.32
	ข้าวซ้อมมือ	322.67	228.27	416.80	0.33 : 0.24 : 0.43
	ข้าวเจ้าพิจิตร	436.27	467.47	596.53	0.29 : 0.31 : 0.40
BCC 6131	ข้าวหอมมะลิ	11.80	9.50	13.50	0.34 : 0.27 : 0.39
	ข้าวซ้อมมือ	28.73	25.07	52.23	0.27 : 0.24 : 0.49
	ข้าวเจ้าพิจิตร	126.27	119.22	151.80	0.32 : 0.30 : 0.38
FTCMU	ข้าวหอมมะลิ	21.37	18.20	26.40	0.32 : 0.28 : 0.40
	ข้าวซ้อมมือ	39.90	37.07	69.97	0.27 : 0.25 : 0.48
	ข้าวเจ้าพิจิตร	167.40	187.47	167.27	0.32 : 0.36 : 0.32
DMKU	ข้าวหอมมะลิ	350.27	582.40	307.07	0.28 : 0.47 : 0.25
	ข้าวซ้อมมือ	309.33	360.53	308.40	0.32 : 0.37 : 0.32
	ข้าวเจ้าพิจิตร	284.40	369.47	268.80	0.31 : 0.40 : 0.29

ข. ค่าสีแดงที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัดสีระบบ Hunter Lab

เมื่อทำการวัดค่าสีด้วยระบบ Hunter Lab พบว่า ทั้งสายพันธุ์เชื้อรา *M. purpureus* และชนิดของข้าวที่ใช้หมักมีผลต่อค่าสี L ของข้าวแดงที่ได้จากการหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวแดงที่ได้จากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวหอมมะลิให้ค่าสี L ต่ำสุดเท่ากับ 21.26 ซึ่งแสดงว่าข้าวแดงที่ได้มีความเข้มของสีแดงสูงที่สุด ส่วนข้าวแดงที่มีความเข้มสีแดงต่ำสุดคือข้าวแดงจากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 ในข้าวหอมมะลิ ได้ค่าสี L เท่ากับ 53.08 เมื่อพิจารณาจากสายพันธุ์เชื้อราที่ใช้หมักพบว่าทั้งเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 และ DMKU จะให้ค่าสี L ต่ำเท่ากับ 21.26 และ 24.02 ตามลำดับ เมื่อทำการหมักในข้าวหอมมะลิ ส่วนเชื้อรา *M. purpureus* BCC 16365 และ FTCMU จะให้ค่าสี L ของข้าวแดงต่ำเท่ากับ 38.03 และ 34.78 ตามลำดับ เมื่อทำการหมักในข้าวเจ้าพิจิตร (ตารางที่ 4.4) ผลที่ได้สอดคล้องกับตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นค่าสีแดงที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ แสดงว่าค่าสี L สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติของสีแดงจากข้าวแดงได้

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าสี L (ความสว่าง) ของข้าวแดงจากการหมักเชื้อรา 4 สายพันธุ์ในข้าว 3 ชนิดที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

สายพันธุ์เชื้อราโมแนสคัส	ค่าสี L (ความสว่าง) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		
	ข้าวเจ้าพิจิตร	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวซ้อมมือ
ATCC 16365	$26.14^{d} \pm 0.61$	$21.26^{a} \pm 0.21$	$27.93^{e} \pm 0.22$
BCC 6131	$38.03^{h} \pm 0.62$	$53.08^{l} \pm 0.32$	$42.40^{j} \pm 0.30$
FTCMU	$34.78^{g} \pm 0.30$	$48.07^{k} \pm 0.10$	$40.15^{i} \pm 0.17$
DMKU	$29.74^{f} \pm .032$	$24.02^{b} \pm 0.31$	$24.82^{c} \pm 0.91$

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแต่ละช่องตารางที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

โดย

- L คือ ค่าความสว่างซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 เมื่อ 0 หมายถึงสีดำ และ 100 หมายถึงสีขาวหรือไม่มีสี
- a คือ ค่าสีแดง และเขียว โดย a (+) หมายถึงสีแดง และ a (-) คือสีเขียว
- b คือ ค่าสีเหลือง และน้ำเงิน โดย b (+) หมายถึงสีเหลือง b (-) คือสีน้ำเงิน

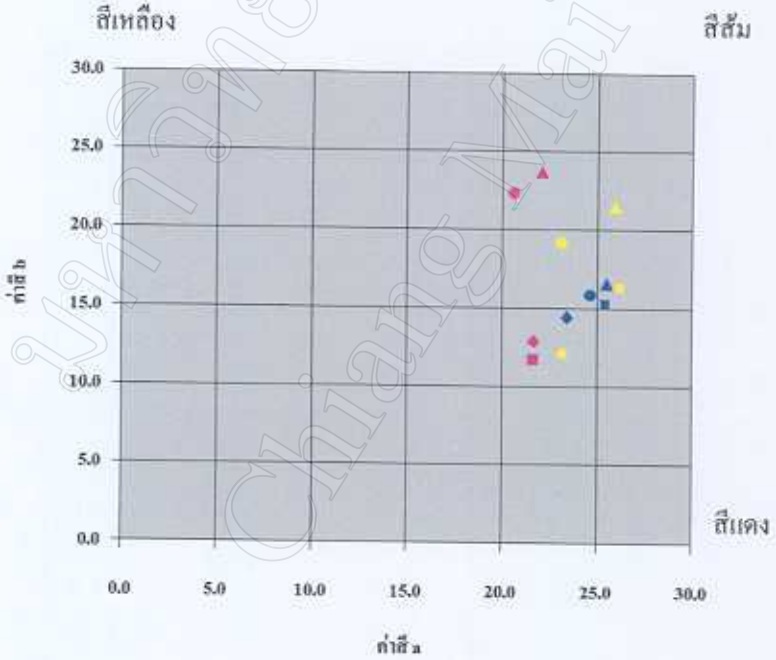
จากการวัดค่าสี a และ b พบว่าทั้งสายพันธุ์เชื้อราและชนิดของข้าวมีผลต่อค่าสี a และ b ของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวแดงจากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 และ FTCMU ในข้าวเจ้าพิจิตรให้ค่าสี a สูงที่สุดเท่ากับ 25.41 และ 25.51 ตามลำดับ ส่วนข้าวแดงจากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 ในข้าวหอมมะลิให้ค่าสี a ต่ำที่สุดเท่ากับ 20.65 โดยข้าวแดงที่มีค่าสี a สูงแสดงว่าให้สีแดงสูง สำหรับค่าสี b ที่สูงสุดและต่ำที่สุดได้จากข้าวแดงที่หมักจากเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU และ ATCC 16365 ในข้าวหอมมะลิ มีค่าเท่ากับ 23.65 และ 11.71 ตามลำดับ โดยข้าวแดงที่ให้ค่าสี b สูง แสดงว่าให้สีเหลืองสูง (ตารางที่ 4.5)

จากความสัมพันธ์ของค่าสี a และ b พบว่า ข้าวแดงที่หมักโดยใช้ข้าวเจ้าพิจิตรจากเชื้อรา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ จะให้ค่าสี a อยู่ในช่วง 23.43-25.41 และค่าสี b อยู่ในช่วง 14.45-16.56 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าข้าวแดงที่ได้จากการหมักข้าวเจ้าพิจิตรจะให้สีส้มแดงในระดับเดียวกัน โดยแตกต่างกันตามค่าสี L ข้าวซ้อมมือจะให้ค่าสี a ของข้าวแดงในช่วง 23.16-26.21 แต่ค่าสี b จะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์เชื้อราที่ใช้หมัก โดยเรียงลำดับจากต่ำไปสูงคือ เชื้อรา *M. purpureus* DMKU, ATCC 16365, BCC 6131 และ FTCMU ตามลำดับ เช่นเดียวกับข้าวหอมมะลิซึ่งมีช่วงของค่าสี a ในช่วง 20.65-22.09 แต่มีค่าสี b แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์เชื้อราที่ใช้หมัก โดยเรียงลำดับจากต่ำไปสูงคือ เชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365, DMKU, BCC 6131 และ FTCMU ตามลำดับ ซึ่งข้าวแดงที่ได้จะมีอัตราส่วนของสีเหลืองเพิ่มขึ้นตามค่าสี b และเมื่อสังเกตจากสายพันธุ์เชื้อราที่ใช้ พบว่าข้าวแดงที่ได้จากเชื้อรา *M. purpureus* DMKU จะให้สีแดงเข้มเหมือนกันในข้าวทุกชนิด เนื่องจากค่าสี a และ b ที่ใกล้เคียงกัน แต่สีที่ได้จะมีความเข้มแตกต่างกันตามชนิดของข้าวที่ใช้หมักซึ่งเป็นไปตามค่าสี L ส่วนการหมักเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 ให้ค่าสี a ในช่วง 20.65-24.66 แต่ค่าสี b จะแตกต่างกันตามชนิดของข้าวที่ใช้หมัก โดยเรียงลำดับจากค่าสี b จากต่ำไปสูงคือ ข้าวเจ้าพิจิตร ข้าวซ้อมมือ และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ ค่าสี b ที่ต่ำจะให้สีแดงเข้ม ส่วนค่าสี b สูงจะให้สีแดงเหลือง สำหรับข้าวแดงที่ได้จากเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 และBCC 6131 ไม่สามารถบอกแนวโน้มที่ชัดเจนของสีแดงที่เกิดได้ (รูปที่ 4.3)

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าสี a และ b ของข้าวแดงที่ได้จากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าว 3 ชนิดที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

สายพันธุ์เชื้อรา	ค่าสี a (สีแดง-สีเขียว) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			ค่าสี b (สีเหลือง-สีน้ำเงิน) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		
	ข้าวเจ้าพิจิตร	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวซ้อมมือ	ข้าวเจ้าพิจิตร	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวซ้อมมือ
ATCC 16365	$25.41^{f}\pm0.20$	$21.67^{b}\pm0.30$	$26.21^{g}\pm0.18$	$15.31^{c}\pm0.10$	$11.71^{a}\pm0.14$	$16.39^{g}\pm0.16$
BCC 6131	$24.66^{e}\pm0.07$	$20.65^{a}\pm0.12$	$23.16^{d}\pm0.14$	$15.84^{f}\pm0.01$	$22.32^{k}\pm0.15$	$19.17^{i}\pm003$
FTCMU	$25.51^{f}\pm0.15$	$22.09^{c}\pm0.12$	$25.97^{g}\pm0.04$	$16.56^{h}\pm0.07$	$23.65^{j}\pm0.03$	$21.52^{j}\pm0.11$
DMKU	$23.43^{c}\pm0.13$	$21.69^{b}\pm0.32$	$23.20^{e}\pm0.37$	$14.45^{d}\pm0.01$	$12.90^{c}\pm0.13$	$12.16^{b}\pm0.11$

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแต่ละช่องตารางที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

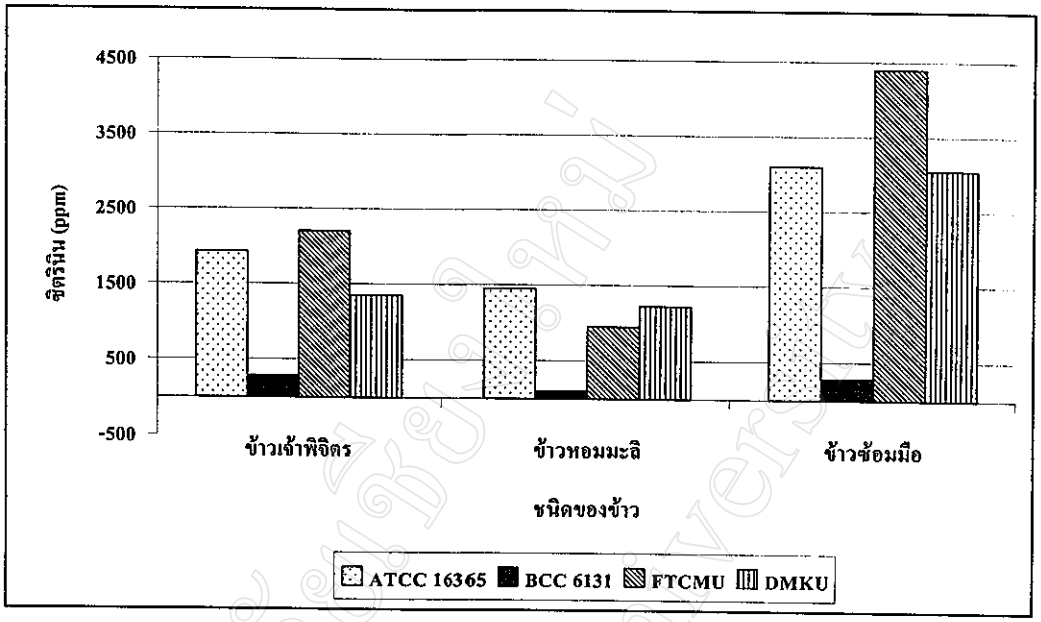


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี a และ b ของข้าวแดงจากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าว 3 ชนิดที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน (สายพันธุ์เชื้อรา *M. purpureus* แสดงโดย สี่เหลี่ยมจตุรัส คือ ATCC 16365, วงกลม คือ BCC 6131, สามเหลี่ยมคือ FTCMU และ สี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด คือ DMKU และชนิดของข้าวแสดงโดย สีน้ำเงินคือข้าวเจ้าพิจิตร สีชมพู คือข้าวหอมมะลิ และ สีเหลืองคือข้าวซ้อมมือ)

4.1.4 ปริมาณซิตรินินของข้าวแดงที่หมักโดยใช้เชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าว 3 ชนิด

พบว่าชนิดของข้าวและสายพันธุ์เชื้อรามีผลต่อปริมาณซิตรินินในข้าวแดง สายพันธุ์เชื้อรา *M. purpureus* ที่ให้ปริมาณซิตรินินจากสูงไปต่ำคือ FTCMU, ATCC 16365, DMKU และ BCC 6131 ตามลำดับ ขณะที่ชนิดของข้าวที่ให้ปริมาณซิตรินินสูงไปต่ำคือ ข้าวซ้อมมือ ข้าวเจ้าพิจิตร และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ (รูปที่ 4.4) ซึ่งปริมาณซิตรินินที่แตกต่างกันอาจเกิดจากองค์ประกอบและปริมาณของสารอาหารแตกต่างกันในข้าวแต่ละชนิด เช่น อมิโลส กรดอะมิโน วิตามิน หรือแร่ธาตุต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าข้าวหอมมะลิให้ปริมาณซิตรินินต่ำที่สุด โดยข้าวหอมมะลิเป็นข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำคือ 17.57 เปอร์เซ็นต์ จึงอาจมีงานทดลองในอนาคตถึงการหมักเชื้อราโมแนสคัสในข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณอมิโลสต่ำมากเพื่อศึกษาถึงผลของอมิโลสต่อปริมาณซิตรินิน และพบว่าข้าวซ้อมมือให้ปริมาณซิตรินินสูงที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณสารอาหารที่สมบูรณ์ในข้าวซ้อมมือ โดยข้าวซ้อมมือหรือข้าวกล้องคือข้าวที่ผ่านกระบวนการกะเทาะเพื่อเอาเปลือกออกเพียงครั้งเดียว จึงยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวที่อุดมด้วยวิตามินแร่ธาตุต่างๆ เช่น วิตามินบี1 วิตามินบี2 ไนอาซิน แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก เซเรเนียม แมกนีเซียม และเส้นใยอาหารอยู่ (อุตสาหกรรมสาร, 2544) ข้าวแดงซึ่งได้จากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU ในข้าวซ้อมมือให้ปริมาณซิตรินินสูงที่สุดคือ 4,400 ppm และข้าวแดงที่ได้จากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 ในข้าวหอมมะลิให้ปริมาณซิตรินินต่ำที่สุดคือ 105 ppm (ตารางที่ 4.6)

เลขหมู่.....
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รูปที่ 4.4 ปริมาณซิตรินินของข้าวแดงที่ได้จากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าว 3 ชนิด ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.6 ปริมาณซิตรินินของข้าวแดงที่ได้จากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าว 3 ชนิด ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

สายพันธุ์เชื้อราโมแนสคัส	ปริมาณซิตรินิน (ppm)		
	ข้าวเจ้าพิจิตร	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวช้อมมือ
ATCC 16365	1,925	1,450	3,100
BCC 6131	285	105	285
FTCMU	2,200	950	4,400
DMKU	1,350	1,225	3,050

4.2 การปรับปรุงคุณภาพของข้าวแดง

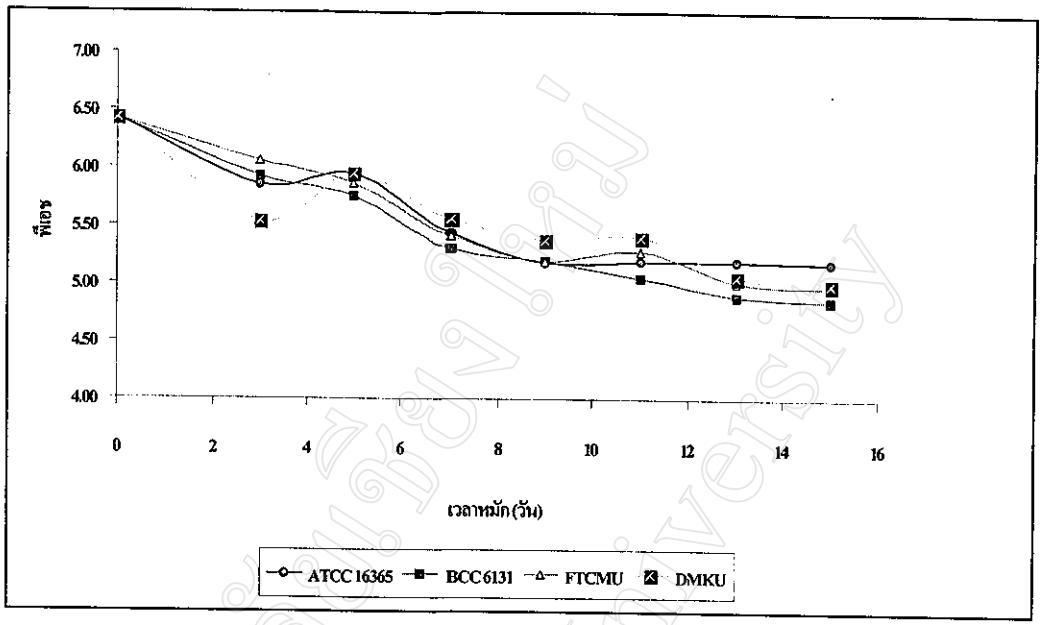
จากผลการทดลองตอนที่ 4.1 พบว่าข้าวเจ้าพิจิตรสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับการผลิตสีที่ดีสำหรับเชื้อรา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์เมื่อเทียบกับข้าวหอมมะลิหรือข้าวซ้อมมือ ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้าวเจ้าพิจิตรในการทดลองเปรียบเทียบการเติมโซเดียมอะซิเตตที่ความเข้มข้นต่างๆ 5 ระดับคือ 0, 0.005, 0.01, 0.03 และ 0.05 M ลงในข้าวเจ้าพิจิตรเพื่อใช้ในการหมักเป็นข้าวแดงจากเชื้อรา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ โดยบ่มที่อุณหภูมิห้อง เวลา 15 วัน

4.2.1 การหมักข้าวแดงโดยใช้ *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ในข้าวเจ้าพิจิตรโดยไม่เติมโซเดียมอะซิเตต

การเปลี่ยนแปลงค่าทางเคมีและกายภาพระหว่างการหมักข้าวแดงโดยเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าวเจ้าพิจิตร ดังนี้คือ

ก. ค่าพีเอช

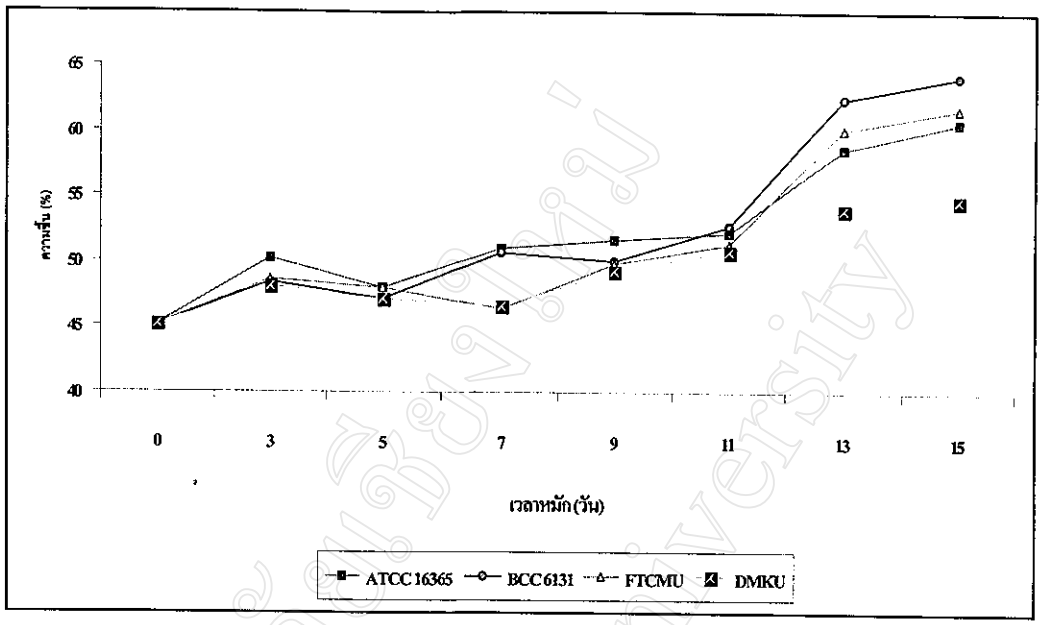
ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชระหว่างการหมักข้าวแดงของเชื้อราแต่ละสายพันธุ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะลดลงอย่างช้าๆ จากพีเอชเริ่มต้นของข้าวเจ้าพิจิตรเท่ากับ 6.43 จนถึงช่วงพีเอชระหว่าง 4.85-5.18 ในวันที่ 15 ของการหมัก (รูปที่ 4.5) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Han และ Mudgett (1992) ได้ทำการหมักเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวโดยใช้ถังหมักแบบ packed bed เป็นเวลา 180 ชั่วโมง พบว่าค่าพีเอชลดลงจาก 6.1 เป็น 4.0 เมื่อสิ้นสุดการหมัก ซึ่งพีเอชที่ลดลงระหว่างการหมักน่าจะเกิดจากเชื้อราสร้างกรดอินทรีย์ขึ้นระหว่างการเจริญเติบโต ซึ่ง Hajjaj และคณะ (2000(a)) ศึกษาพบว่า เชื้อรา *M. ruber* มีการสร้างกรดมาลิก (L-malic acid) และกรดซัคซินิก (succinic acid) ระหว่างการหมักโดยอาหารสังเคราะห์ในถังหมักแบบมีการกวนให้อากาศ โดยเฉพาะกรดมาลิกจะมีปริมาณเป็น 2 เท่าของกรดซัคซินิก สำหรับค่าพีเอชของข้าวแดงเมื่อสิ้นสุดการหมักมีความแตกต่างกับการทดลองที่ 4.1 (ตารางที่ 4.1) อาจเป็นผลมาจากจำนวนวันที่หมักแตกต่างกัน โดยการทดลองที่ 4.1 ใช้เวลาหมักเท่ากับ 14 วัน ในขณะที่การทดลองที่ 4.2 ใช้เวลาหมัก 15 วัน



รูปที่ 4.5 ค่าพีเอชระหว่างการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าวเจ้าพิจิตรที่อุณหภูมิห้อง เวลา 15 วัน

ข. ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวแดงระหว่างการหมักจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันในทุกสายพันธุ์เชื้อราโมแนสคัส คือจะค่อยๆ เพิ่มจากความชื้นเริ่มต้น 45.14 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปอยู่ในช่วงความชื้น 50.73-52.67 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 11 ของการหมัก จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365, BCC 6131 และ FTCMU ซึ่งมีความชื้นในวันที่ 15 ของการหมัก เท่ากับ 60.65, 64.09 และ 61.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ยกเว้นเชื้อรา *M. purpureus* DMKU ที่ความชื้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึง 54.69 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 15 ของการหมัก (รูปที่ 4.6) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Han และ Mudgett (1992) ที่ทำการหมักเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าว โดยใช้ถังหมักแบบ packed bed พบว่าเชื้อราจะมีความชื้นคงที่ในช่วง 90 ชั่วโมงแรกของการหมัก จากนั้นความชื้นจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจาก 47.8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 55.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 180 ชั่วโมง และจากงานทดลองของ Johns และ Stuart (1991) ที่ทำการเลี้ยงเชื้อ *M. purpureus* FRR 2190 ในข้าวที่ความชื้นเริ่มต้นแตกต่างกัน พบว่าที่ความชื้นของข้าวต่ำกว่า 38 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบการเจริญของเส้นใยเชื้อราหลังจากบ่มเชื้อเป็นเวลา 14 วัน ส่วนที่ความชื้นระหว่าง 38-39.5 เปอร์เซ็นต์ จะมีการเจริญของเชื้อราน้อย โดยมีการเจริญของเส้นใยเพียงบริเวณภายนอกของเม็ดข้าวเท่านั้น และพบว่าเชื้อราจะมีการเจริญและสร้างสีแดงได้ดีที่ความชื้นสูงโดยเฉพาะที่ความชื้นเท่ากับ 57 เปอร์เซ็นต์



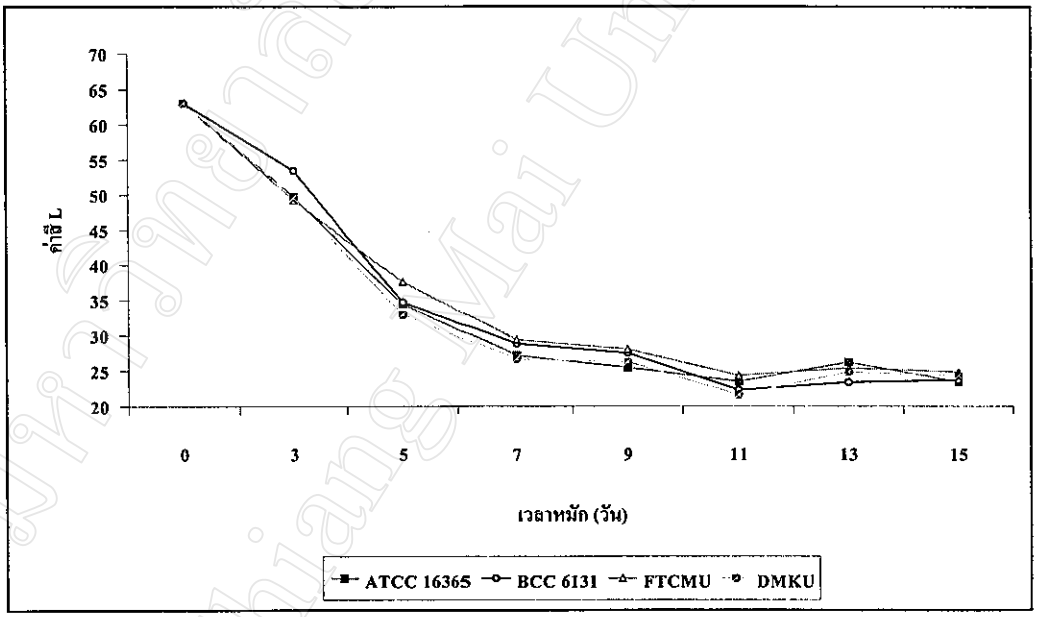
รูปที่ 4.6 ค่าความชื้นระหว่างการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าวเจ้าพิจิตรที่อุณหภูมิห้อง เวลา 15 วัน

ค. ค่าสี L a b

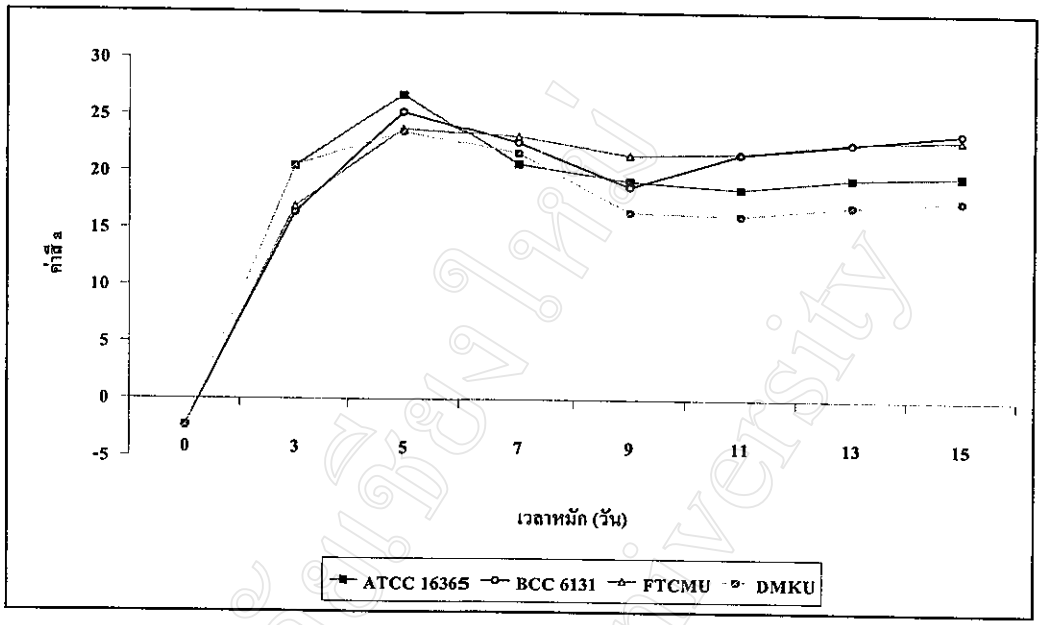
การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ของข้าวแดงระหว่างการหมักด้วยเชื้อรา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสี L ในทิศทางเดียวกัน โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 5 วันของการหมัก จากค่าสี L เท่ากับ 63.07 ลดลงมาอยู่ในช่วง 33.30-37.64 และจากนั้นค่าสี L จะลดลงอย่างช้าๆ จนถึงวันที่ 11 และคงที่จนถึงวันที่ 15 ของการหมัก คือจะอยู่ในช่วง 23.42-24.86 (รูปที่ 4.7)

การเปลี่ยนแปลงค่าสี a ระหว่างการหมักข้าวแดงด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์ พบว่า ในช่วง 5 วันแรกของการหมัก ค่าสี a ของข้าวแดงในทุกสายพันธุ์เชื้อราที่ใช้หมักจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก –2.32 ขึ้นมาอยู่ในช่วง 23.54-26.81 แสดงถึงการสร้างสีแดงอย่างรวดเร็วของเชื้อรา และหลังจากนั้นค่าสี a จะค่อยๆ ลดลง และจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนคงที่หลังวันที่ 9 ของการหมัก โดยในวันที่ 15 ค่าสี a ของข้าวแดงจะอยู่ในช่วง 17.56-23.51 (รูปที่ 4.8)

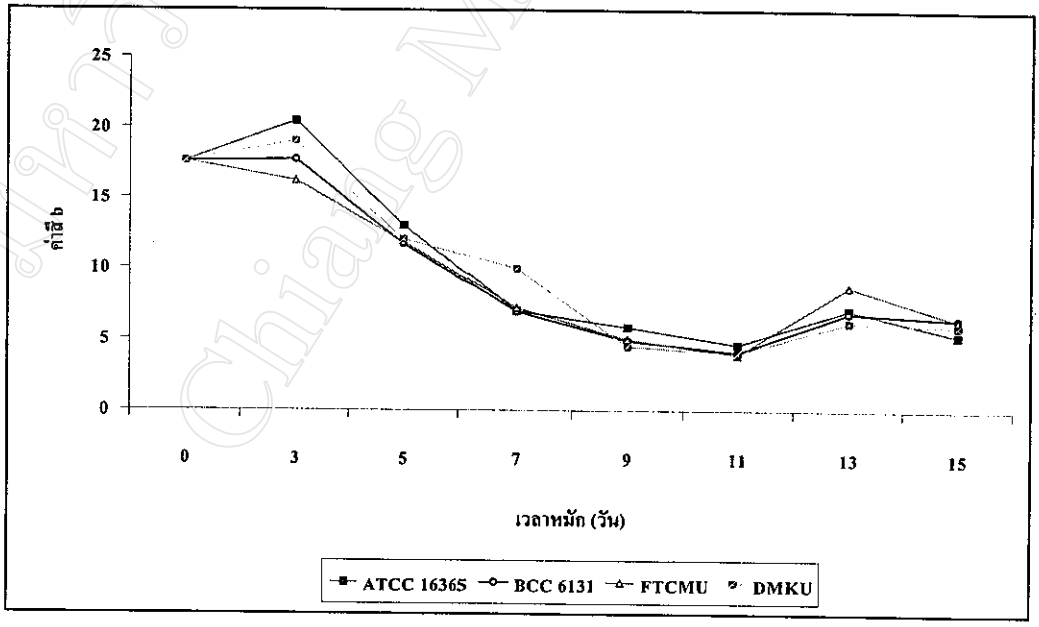
การเปลี่ยนแปลงค่าสี b ระหว่างการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 7 วัน จาก 17.58 ลงมาอยู่ในช่วง 6.95-9.97 แสดงถึงความเข้มของสีข้าวจะเข้มขึ้น คือเปลี่ยนจากสีขาวของข้าวเป็นสีแดงของข้าวแดง และเมื่อถึงวันที่ 15 ของการหมัก ค่าสี b ของข้าวแดงจะอยู่ในช่วง 5.32-6.46 (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.7 ค่าสี L ระหว่างการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าวเจ้าพิจิตรที่อุณหภูมิห้อง เวลา 15 วัน



รูปที่ 4.8 ค่าสี a ระหว่างการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าวเจ้าพิจิตรที่อุณหภูมิห้อง เวลา 15 วัน



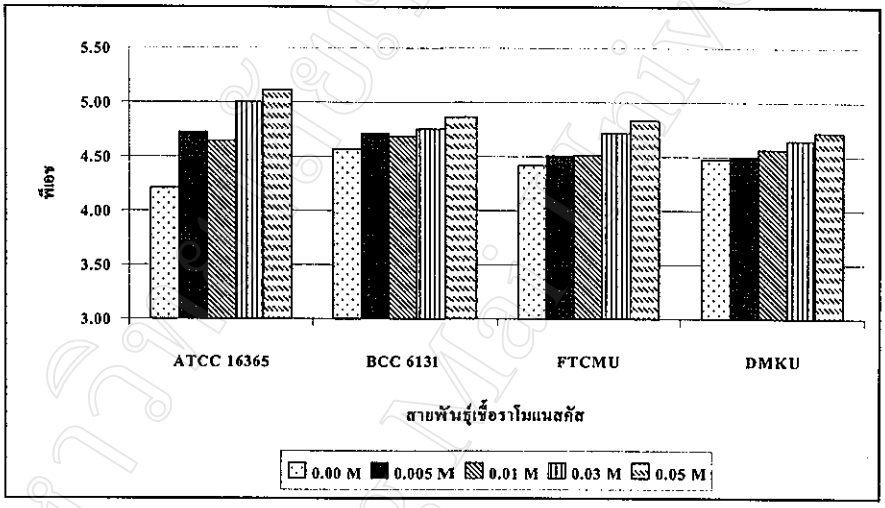
รูปที่ 4.9 ค่าสี b ระหว่างการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในข้าวเจ้าพิจิตรที่อุณหภูมิห้อง เวลา 15 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

4.2.2 การหมักข้าวแดงแบบเติมโซเดียมอะซิเตต ได้ผลดังนี้คือ

ก. ค่าพีเอช

เมื่อเติมโซเดียมอะซิเตตลงในข้าว พบว่าแนวโน้มของค่าพีเอชของข้าวแดงที่ได้หลังจากการหมัก 14 วัน จะสูงขึ้นตามความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตที่ใช้เติม (รูปที่ 4.10) และจากตารางที่ 4.7 พบว่าโซเดียมอะซิเตตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.10 ค่าพีเอชของข้าวแดงในการหมักแบบมีการเติมโซเดียมอะซิเตตที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

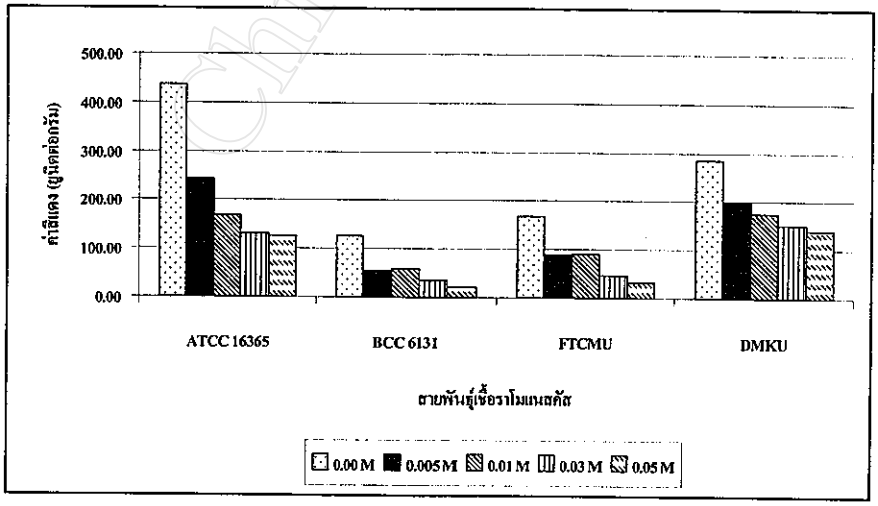
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าพีเอชของข้าวแดงแบบมีการเติมโซเดียมอะซิเตตที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

ความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต (M)	ค่า pH (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ATCC 16365	BCC 6131	FTCMU	DMKU
0.00	$4.21^{a}\pm0.04$	$4.57^{a}\pm0.02$	$4.42^{a}\pm0.04$	$4.48^{a}\pm0.02$
0.005	$4.72^{b}\pm0.09$	$4.71^{b,c}\pm0.04$	$4.51^{b}\pm0.04$	$4.50^{a}\pm0.02$
0.01	$4.64^{b}\pm0.05$	$4.69^{b}\pm0.04$	$4.51^{b}\pm0.04$	$4.56^{b}\pm0.02$
0.03	$5.00^{c}\pm0.03$	$4.75^{c}\pm0.04$	$4.71^{c}\pm0.03$	$4.65^{c}\pm0.03$
0.05	$5.11^{d}\pm0.03$	$4.86^{d}\pm0.03$	$4.83^{d}\pm0.02$	$4.72^{d}\pm0.04$

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแต่ละช่องตารางที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ข. ค่าสีแดงที่ได้จากการวัดโดยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

การเติมโซเดียมอะซิเตตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) (ตารางที่ 4.8) พบว่าค่าสีแดงลดลงตามความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตที่เพิ่มขึ้น โดยกลุ่มข้าวแดงที่เติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0.05 M จะมีค่าสีแดงต่ำมาก เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เติมโซเดียมอะซิเตต (รูปที่ 4.11)



รูปที่ 4.11 ค่าสีแดงของข้าวแดงในการหมักแบบมีการเติมโซเดียมอะซิเตตที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าสีแดงของข้าวแดงแบบมีการเติมโซเดียมอะซิเตตที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

ความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต (M)	ค่าสีแดง (ยูนิตต่อกรัม) (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ATCC 16365	BCC 6131	FTCMU	DMKU
0.00	$436.27^{c}\pm11.98$	$126.27^{d}\pm9.82$	$167.40^{c}\pm11.02$	$284.40^{b}\pm10.38$
0.005	$242.80^{b}\pm5.20$	$53.00^{b,c}\pm3.44$	$89.80^{b}\pm7.81$	$199.73^{a}\pm7.75$
0.01	$168.67^{a,b}\pm11.87$	$59.57^{c}\pm11.85$	$91.97^{b}\pm8.04$	$175.53^{a}\pm13.92$
0.03	$131.47^{a}\pm8.85$	$35.63^{a,b}\pm2.80$	$47.30^{a}\pm5.14$	$152.33^{a}\pm10.32$
0.05	$126.60^{a}\pm11.57$	$21.20^{a}\pm0.44$	$32.70^{a}\pm4.99$	$140.20^{a}\pm8.36$

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแต่ละช่องตารางที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ค. ค่าสีแดงที่ได้จากการวัดโดยใช้ระบบ Hunter Lab

การเติมโซเดียมอะซิเตตในข้าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L ของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยค่าสี L มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตต โดยเฉพาะเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ที่ค่าสี L เพิ่มขึ้นจาก 26.14 เป็น 48.56 เมื่อเพิ่มความเข้มโซเดียมอะซิเตตจาก 0 M เป็น 0.05 M ขณะที่เชื้อรา *M. purpureus* DMKU มีค่าสี L เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตตเพิ่มจาก 0 M เป็น 0.05 M (ตารางที่ 4.9)

การเติมโซเดียมอะซิเตตลงในข้าวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) (ตารางที่ 4.9 และ 4.10) โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสี a ของเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131, FTCMU และ DMKU จะลดลงเมื่อความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตตสูงขึ้น ยกเว้นสายพันธุ์ ATCC 16365 ที่ไม่สามารถบอกแนวโน้มที่ชัดเจนได้ สำหรับค่าสี b พบว่าข้าวแดงที่ได้จากการหมักของเชื้อราทั้ง 4 สายพันธุ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต จึงอธิบายได้ว่า เมื่อความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตตสูงขึ้น ข้าวแดงจะมีค่าสี L และค่าสี b สูงขึ้น ขณะที่ค่าสี a จะลดลง ซึ่งหมายความว่า ค่าสีแดงของข้าวแดงจะมีความเข้มลดลง คือให้สีแดงน้อยลง แต่จะมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น โดยค่าสีแดงที่ได้จากการวัดโดยระบบ Hunter Lab จะให้ผลสอดคล้องกับการวัดค่าสีแดงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าสี L ของข้าวแดงแบบมีการเติมโซเดียมอะซิเตตที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

ความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต (M)	ค่าสี L (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ATCC 16365	BCC 6131	FTCMU	DMKU
0.00	$26.14^{a}\pm0.01$	$38.03^{a}\pm0.62$	$34.78^{a}\pm0.30$	$29.74^{b}\pm0.32$
0.005	$36.11^{b}\pm0.40$	$44.00^{c}\pm0.10$	$38.36^{c}\pm0.32$	$29.22^{a}\pm0.29$
0.01	$36.31^{b}\pm0.38$	$41.46^{b}\pm0.40$	$37.18^{b}\pm0.20$	$31.33^{c}\pm0.32$
0.03	$43.82^{c}\pm0.64$	$46.58^{d}\pm0.17$	$43.64^{d}\pm0.29$	$32.55^{d}\pm0.04$
0.05	$48.56^{d}\pm0.32$	$50.32^{e}\pm0.32$	$46.20^{e}\pm0.01$	$33.13^{e}\pm0.27$

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าสี a ของข้าวแดงแบบมีการเติมโซเดียมอะซิเตตที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

ความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต (M)	ค่าสี a (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ATCC 16365	BCC 6131	FTCMU	DMKU
0.00	$25.41^{b}\pm0.20$	$24.66^{c}\pm0.07$	$25.51^{a}\pm0.15$	$23.43^{a}\pm0.13$
0.005	$25.77^{c}\pm0.11$	$22.94^{c}\pm0.13$	$25.42^{a}\pm0.14$	$23.48^{a}\pm0.24$
0.01	$26.89^{c}\pm0.08$	$23.50^{c}\pm0.21$	$25.61^{a}\pm0.13$	$23.96^{b}\pm0.27$
0.03	$26.44^{d}\pm0.17$	$22.17^{b}\pm0.03$	$26.11^{b}\pm0.07$	$24.24^{b}\pm0.07$
0.05	$23.56^{a}\pm0.22$	$20.99^{a}\pm0.07$	$26.09^{b}\pm0.16$	$25.11^{c}\pm0.22$

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าสี b ของข้าวแดงแบบมีการเติมโซเดียมอะซิเตตที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

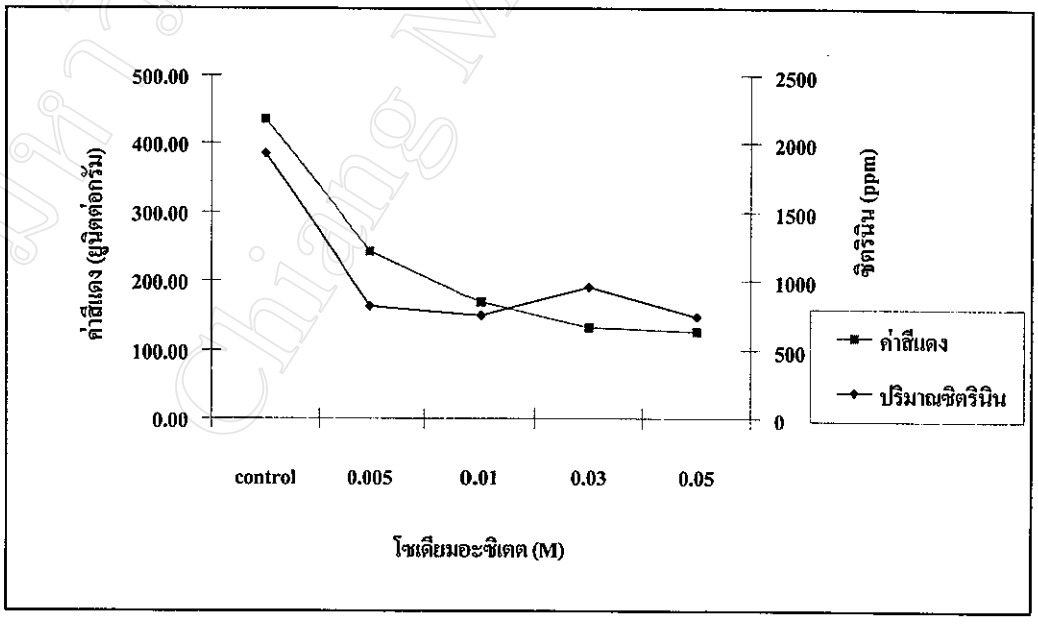
ความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต (M)	ค่าสี b (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ATCC 16365	BCC 6131	FTCMU	DMKU
0.00	$15.31^{a}\pm0.10$	$15.85^{a}\pm0.01$	$16.56^{a}\pm0.07$	$14.44^{a}\pm0.01$
0.005	$20.32^{c}\pm0.16$	$16.76^{b}\pm0.10$	$17.07^{b}\pm0.07$	$14.46^{a}\pm0.02$
0.01	$19.83^{b}\pm0.08$	$17.47^{c}\pm0.16$	$17.53^{c}\pm0.08$	$14.65^{b}\pm0.09$
0.03	$22.11^{d}\pm0.07$	$18.14^{d}\pm0.04$	$19.89^{d}\pm0.06$	$15.48^{c}\pm0.02$
0.05	$23.99^{e}\pm0.07$	$18.92^{e}\pm0.07$	$20.14^{e}\pm0.07$	$15.66^{d}\pm0.04$

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแต่ละช่องตารางที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ง. ผลของการเติมโซเดียมอะซิเตตต่อปริมาณซิตรินิน และค่าสีแดงในข้าวแดงที่หมักจากข้าวเจ้าพิจิตร โดยเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์

***M. purpureus* ATCC 16365**

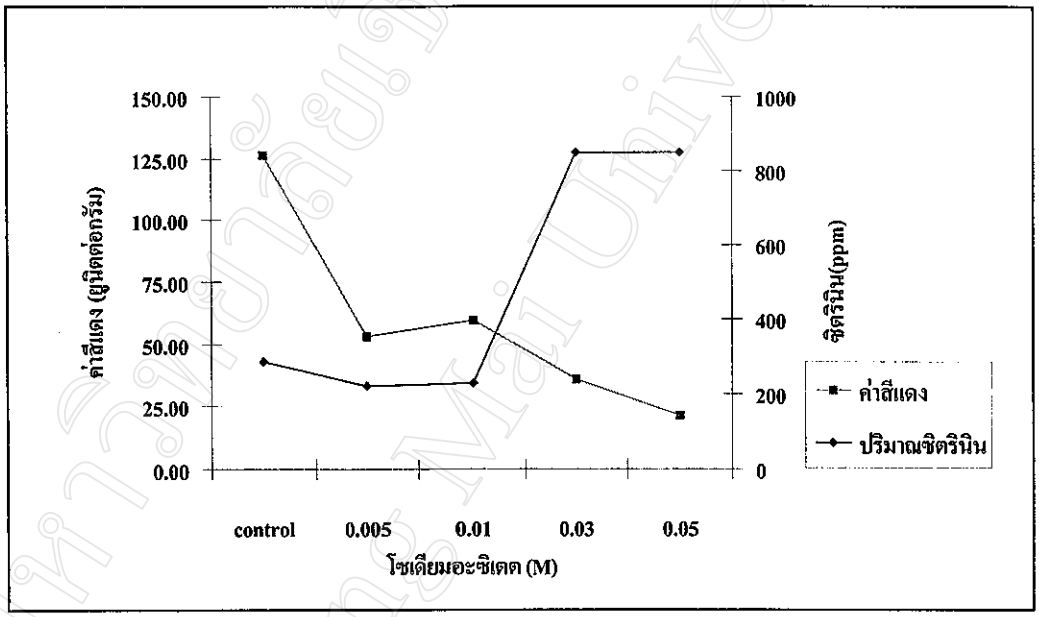
เมื่อเติมโซเดียมอะซิเตต 0.005 M ลงในข้าว พบว่าทำให้ปริมาณซิตรินินของข้าวแดงลดลงจาก 1,925 ppm เหลือ 813 ppm และค่าสีแดงจะลดลงจาก 436.27 เหลือ 242.80 ยูนิตต่อกรัม แต่เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตเพิ่มขึ้นจาก 0.01-0.05 M ค่าซิตรินินของข้าวแดงจะคงที่ในช่วงระหว่าง 750-950 ppm ส่วนค่าสีแดงจะค่อยๆ ลดลงเหลือ 126.60 ยูนิตต่อกรัม ที่ความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต 0.05 M (รูปที่ 4.12) แต่จากงานวิจัยของ Blanc และคณะ (1995(a)) ได้ทำการตรวจวัดปริมาณซิตรินินในข้าวแดงจากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวสุกด้วยวิธี HPLC พบว่าได้ปริมาณซิตรินิน 100 ppm ความแตกต่างของค่าซิตรินินที่ได้ อาจเกิดจากวิธีการตรวจวัดซึ่งมีความถูกต้องและแม่นยำแตกต่างกันซึ่งโดยทั่วไปเทคนิค HPLC จะสามารถตรวจวัดปริมาณซิตรินินได้ในระดับ ppm (1ใน 1,000,000 ส่วน) ส่วนเทคนิค ELISA สามารถตรวจวัดได้ในระดับ ppb (1 ใน 1,000,000,000 ส่วน)



รูปที่ 4.12 ปริมาณซิตรินิน และค่าสีแดงของข้าวแดงที่หมักจากเชื้อ *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

***M. purpureus* BCC 6131**

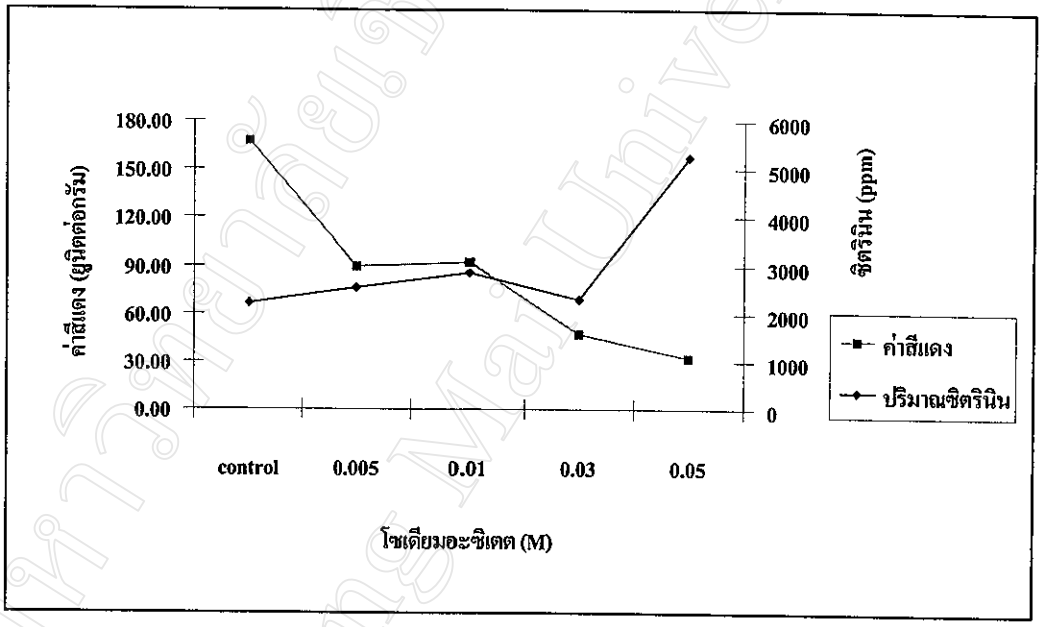
ข้าวแดงที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้น 0.005 M สามารถลดปริมาณซิตรินินจาก 285 ppm เหลือ 220 ppm แต่เมื่อความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตตให้สูงขึ้นกลับพบว่าค่าซิตรินินของข้าวแดงที่ผลิตได้จะสูงขึ้นด้วย โดยเฉพาะข้าวแดงที่มีการเติมโซเดียมอะซิเตต 0.03 M และ 0.05 M จะมีปริมาณซิตรินินเท่ากับ 850 ppm ขณะที่ค่าสีแดงจะลดลงอย่างมากเมื่อมีการเติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้น 0.005 M และมีอัตราการลดต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตสูงขึ้น (รูปที่ 4.13)



รูปที่ 4.13 ปริมาณซิตรินิน และค่าสีแดงของข้าวแดงที่หมักจากเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 ร่วมกับข้าวที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

***M. purpureus* FTCMU**

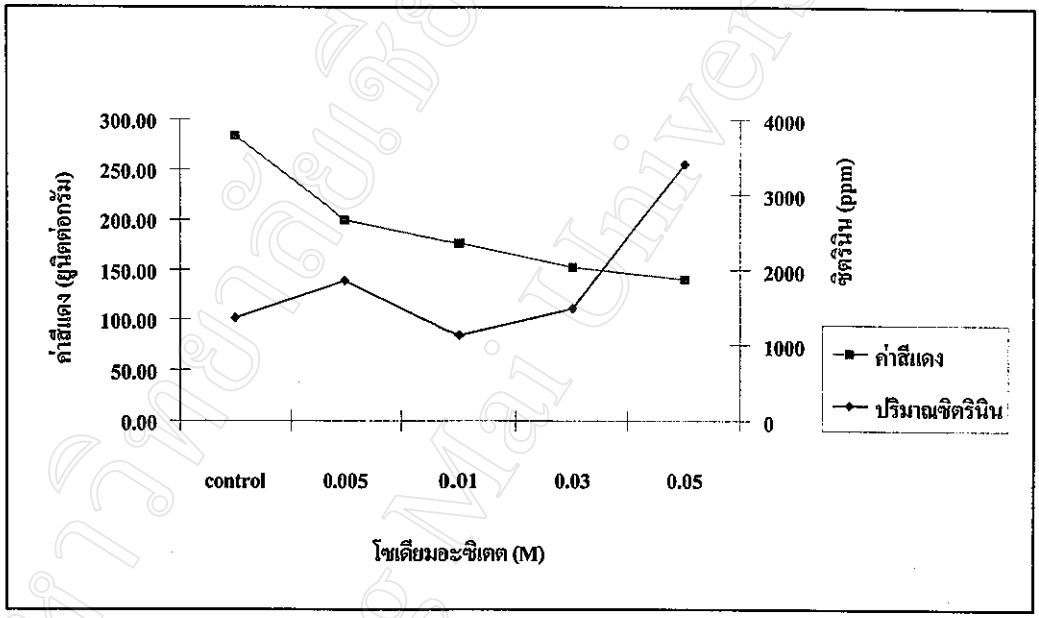
ปริมาณซิตรินินในข้าวแดงที่หมักจากเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU มีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตต โดยที่ความเข้มข้น 0.005 M ถึง 0.03 M ปริมาณซิตรินินจะอยู่ในช่วง 2,300 - 2,850 ppm และจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเป็น 5,250 ppm ที่ความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต 0.05 M ในขณะที่ค่าสีแดงมีแนวโน้มลดต่ำลงตามความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.14)



รูปที่ 4.14 ปริมาณซิตรินิน และค่าสีแดงของข้าวแดงที่หมักจากเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU ร่วมกับข้าวที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

***M. purpureus* DMKU**

ปริมาณซิตรินินในข้าวแดงจากเชื้อรา *M. purpureus* DMKU มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตที่เติมลงในข้าวเช่นเดียวกับสายพันธุ์ FTCMU โดยที่ความเข้มข้น 0.005 M ถึง 0.03 M ปริมาณซิตรินินจะอยู่ในช่วง 1,125 - 1,850 ppm และจะเพิ่มขึ้นเป็น 3,400 ppm ที่ความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต 0.05 M ในขณะที่ค่าสีแดงลดลงอย่างช้าๆ เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตที่เติมสูงขึ้น (รูปที่ 4.15)

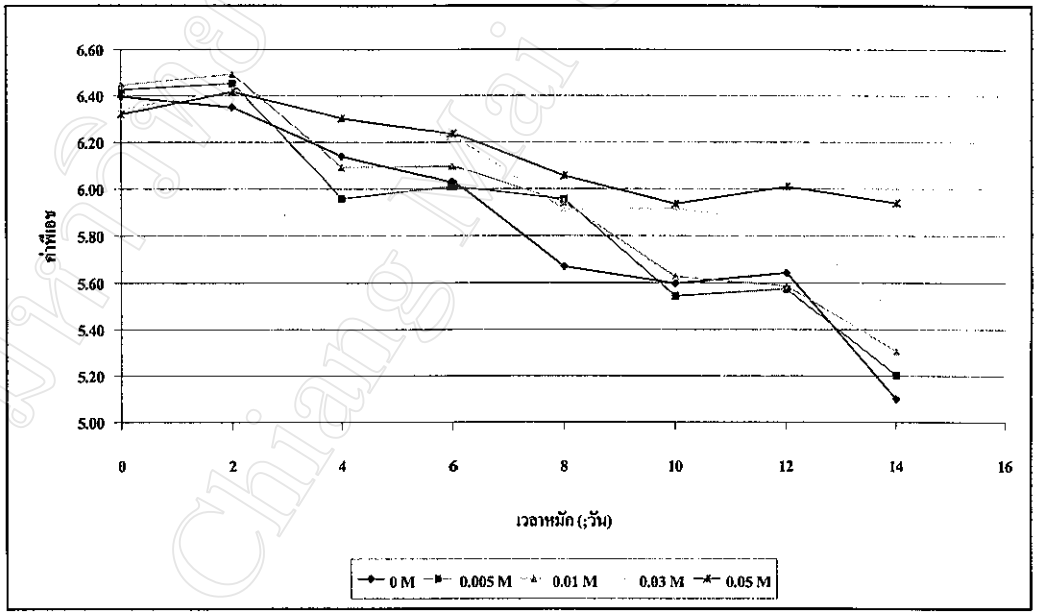


รูปที่ 4.15 ปริมาณซิตรินิน และค่าสีแดงของข้าวแดงที่หมักจากเชื้อรา *M. purpureus* DMKU ร่วมกับข้าวที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

จากการทดลองการลดปริมาณซิตรินินโดยการเติมโซเดียมอะซิเตต พบว่ามีเพียงเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ที่ปริมาณซิตรินินมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตสูงขึ้น ซึ่งแตกต่างจากเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131, FTCMU และ DMKU ที่จะผลิตซิตรินินสูงสุด เมื่อมีการเติมโซเดียมอะซิเตตที่ความเข้มข้น 0.05 M จึงเลือกสายพันธุ์เชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณซิตรินินและสีแดงระหว่างการหมักในข้าว เพื่อศึกษาถึงผลของโซเดียมอะซิเตตต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ความชื้น สีแดง และซิตรินิน ระหว่างการหมักเชื้อรา

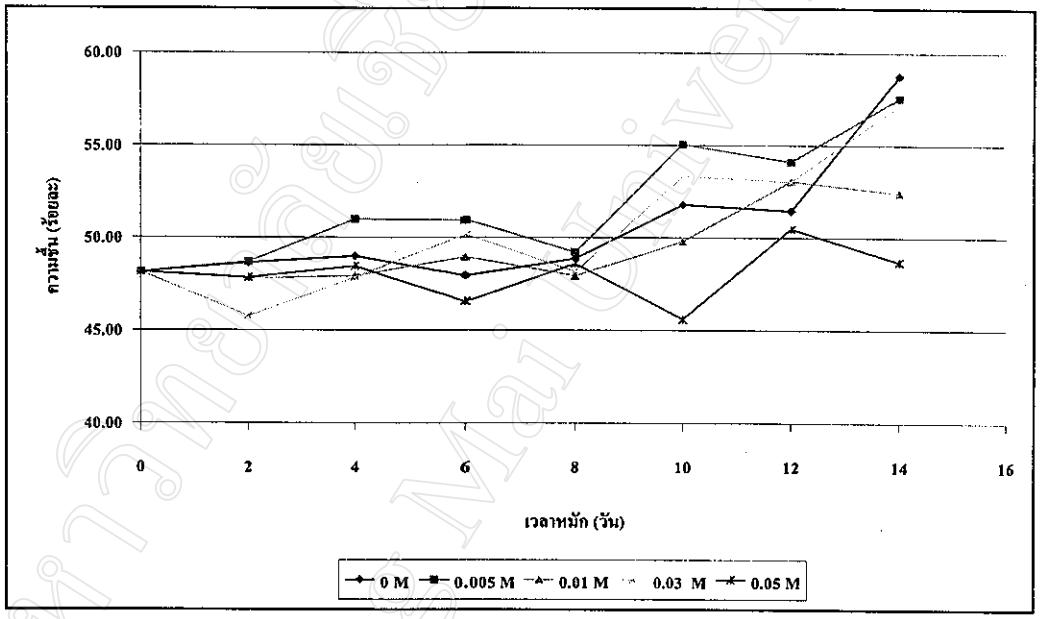
4.3 ผลของปริมาณโซเดียมอะซิเตตต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ค่าความชื้น ค่าสี และปริมาณซิตรินิน ระหว่างการหมักเชื้อ *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวเจ้าพิจิตร

เมื่อเริ่มต้นการหมักค่าพีเอชของข้าวสุกที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ จะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงพีเอชระหว่าง 6.32-6.45 และระหว่างการหมักค่าพีเอชของข้าวแดงจะค่อยๆ ลดลงซึ่งอัตราการลดลงจะแปรผกผันกับความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตต โดยค่าพีเอชสุดท้ายในวันที่ 14 ของการหมักข้าวแดงที่มีการเติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0, 0.005, 0.01, 0.03 และ 0.05 M จะเท่ากับ 5.10, 5.20, 5.31, 5.47 และ 5.94 ตามลำดับ (รูปที่ 4.16) ซึ่งอัตราการลดลงของพีเอช เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตสูงขึ้นอาจเกิดจากคุณสมบัติในการมีฤทธิ์เป็นด่างของโซเดียมอะซิเตต โดยจากการวัดค่าพีเอชของสารละลายโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0, 0.005, 0.01, 0.03 และ 0.05 M มีค่าท่ากับ 6.45, 6.52, 6.87, 7.16 และ 7.27 ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชระหว่างการหมักเชื้อ *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวเจ้าพิจิตรที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

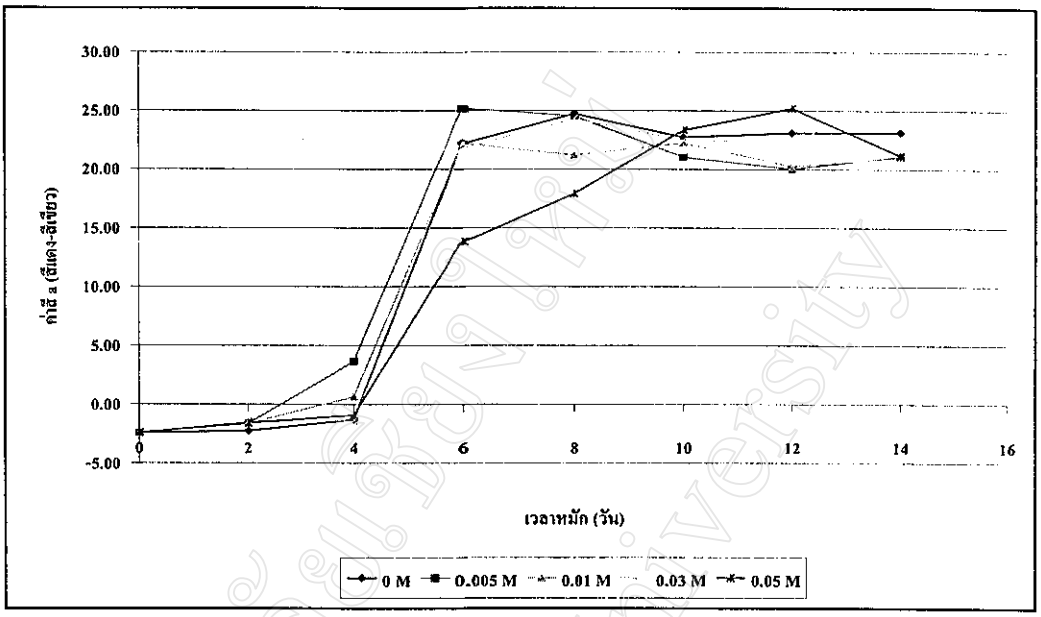
ค่าความชื้นของข้าวแดงจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก และอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นจะแปรผกผันกับความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตที่เติมลงในข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต 0.05 M จะมีอัตราการเพิ่มของความชื้นที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับข้าวที่มีการเติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นที่ต่ำกว่า โดยข้าวแดงที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นเท่ากับ 0, 0.005, 0.01, 0.03 และ 0.05 มี ค่าความชื้นเมื่อสิ้นสุดการหมักวันที่ 14 เท่ากับ 58.76, 57.56, 57.15, 52.41 และ 48.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.17)



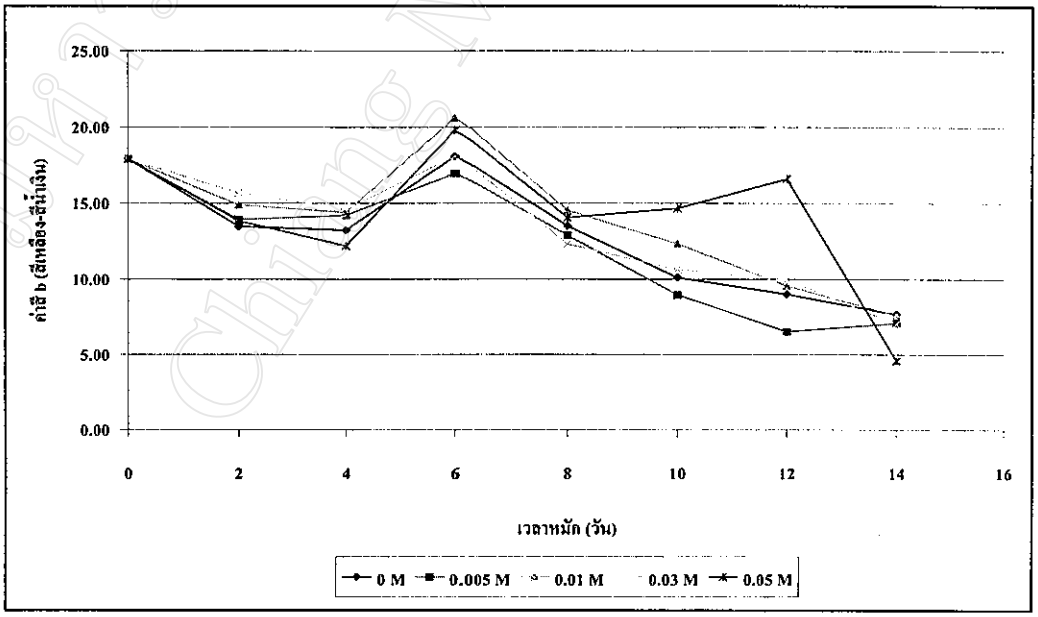
รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นระหว่างการหมักเชื้อ *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวเจ้าพิจิตรที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสี a ในการหมักข้าวแดงที่ทุกความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าสี a เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 4 แสดงว่าเชื้อรายังไม่มีการสร้างสีแดง โดยในช่วงเวลานี้อาจเป็นการเพิ่มจำนวนเซลล์ และสร้างเส้นใยสำหรับเชื้อรา จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างวันที่ 4 ถึงวันที่ 6 ซึ่งสามารถบอกได้ว่า เชื้อราเริ่มสร้างสีแดงในวันที่ 4 ของการหมัก และหลังจากนั้นค่าสี a จะมีแนวโน้มคงที่จนถึงวันสุดท้ายของการหมัก โดยเมื่อสิ้นสุดวันที่ 14 ของการหมักข้าวแดงที่มีการเติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0, 0.005, 0.01, 0.03 และ 0.05 M ค่าสี a จะมีค่าเท่ากับ 23.14, 21.10, 20.99, 26.45 และ 21.07 ตามลำดับ (รูปที่ 4.18)

การเปลี่ยนแปลงค่าสี b ในการหมักข้าวแดงที่ทุกความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าสี b จะค่อยๆ ลดลงในช่วงเริ่มต้นการหมักจนถึงวันที่ 4 จากนั้นค่าสี b จะเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 6 ของการหมัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 16.97-20.61 และหลังจากนั้นค่าสี b จะมีแนวโน้มลดลงอย่างสม่ำเสมอจนสิ้นสุดการหมัก ยกเว้นข้าวแดงที่เติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0.05 M ค่าสี b จะคงที่จนถึงวันที่ 12 ของการหมัก และจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงวันสุดท้ายของการหมัก โดยเมื่อสิ้นสุดวันที่ 14 ของการหมักข้าวแดงที่มีการเติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0, 0.005, 0.01, 0.03 และ 0.05 M ค่าสี b จะมีค่าเท่ากับ 7.67, 7.09, 7.62, 7.04 และ 4.58 ตามลำดับ (รูปที่ 4.19)



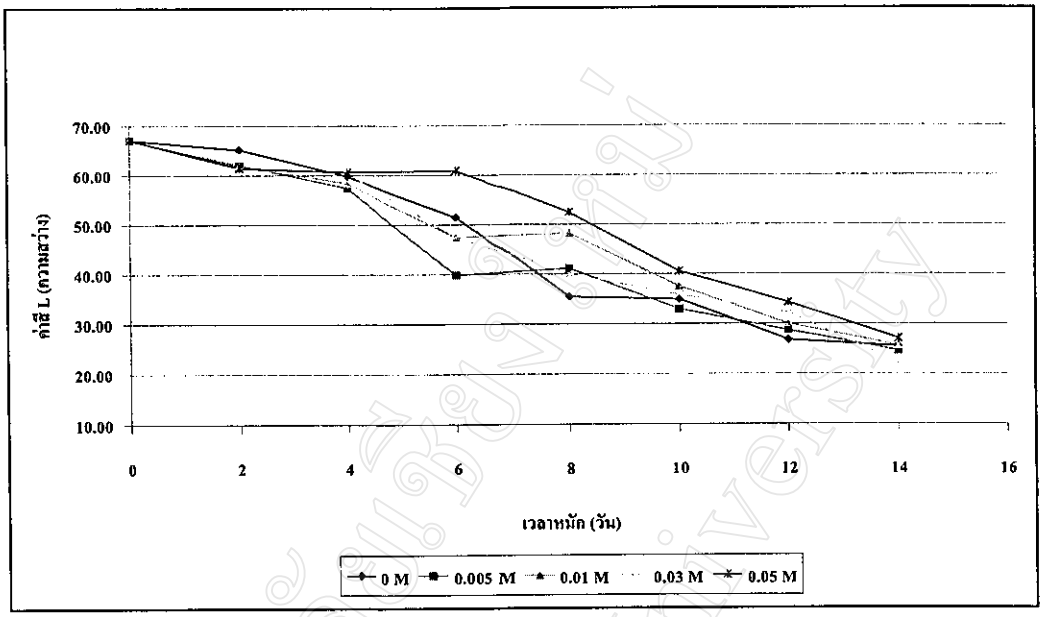
รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a ระหว่างการหมักเชื้อ *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวเจ้าพิจิตรที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14วัน



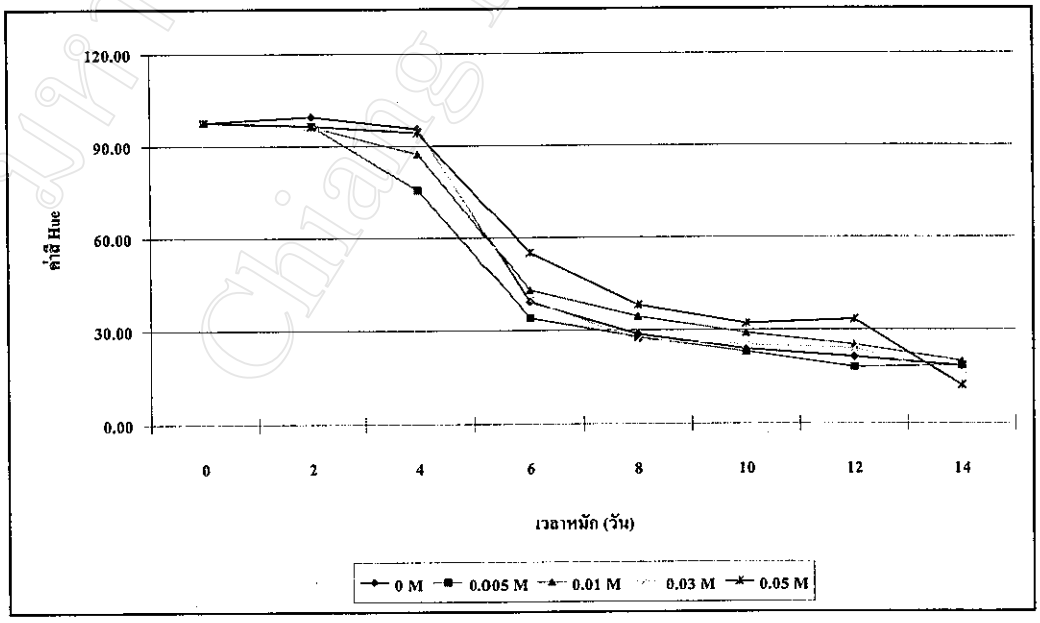
รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b ระหว่างการหมักเชื้อ *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวเจ้าพิจิตรที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14วัน

ค่าสี L ของข้าวแดงจะลดลงเล็กน้อยในช่วงเริ่มต้นการหมักถึงวันที่ 4 ของการหมัก จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 4 ถึงวันที่ 8 ของการหมัก สำหรับทุกความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงวันสุดท้ายของการหมัก โดยเมื่อสิ้นสุดวันที่ 14 ของการหมักข้าวแดงที่มีการเติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0, 0.005, 0.01, 0.03 และ 0.05 M จะมีค่าสี L เท่ากับ 25.50, 24.61, 25.68, 22.11 และ 27.07 ตามลำดับ (รูปที่ 4.20) ซึ่งแสดงว่า ข้าวแดงที่เติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0.05 M จะมีค่าสีแดงอ่อนที่สุดเมื่อเทียบกับข้าวแดงที่เติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้นต่ำกว่า

ค่าสี Hue เป็นค่าที่บอกถึงสีของสารนั้นๆ โดยมีค่าตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา โดยในช่วง 0 ถึง 30 องศา จะเป็นช่วงสีแดง-สีแดงส้ม ตั้งแต่ 30 ถึง 60 องศา จะเป็นช่วง สีแดงส้ม-สีเหลืองส้ม และในช่วง 60-90 องศาจะเป็นช่วงสีเหลืองส้ม-สีเหลือง โดยการเปลี่ยนแปลงค่าสี Hue ของข้าวแดงจะมีแนวโน้มใกล้เคียงกันทุกความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตต พบว่าในช่วง 4 วันแรกของการหมัก ค่าสี Hue จะลดลงเล็กน้อย และเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจากช่วง 75.58-95.59 องศา ลดลงมาอยู่ในช่วง 27.71-38.12 องศา ระหว่างวันที่ 4 ถึง วันที่ 8 ของการหมัก แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองของข้าวสุก ไปเป็นข้าวที่มีสีแดงจากการสร้างของเชื้อรา และจากนั้นค่าสี Hue จะลดลงอย่างช้าๆ จนสิ้นสุดการหมัก โดยวันที่ 14 ของการหมักข้าวแดงที่เติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0, 0.005, 0.01, 0.03 และ 0.05 M จะมีค่าสี Hue เท่ากับ 18.35, 18.58, 19.96, 14.90 และ 12.20 ตามลำดับ (รูปที่ 4.21)



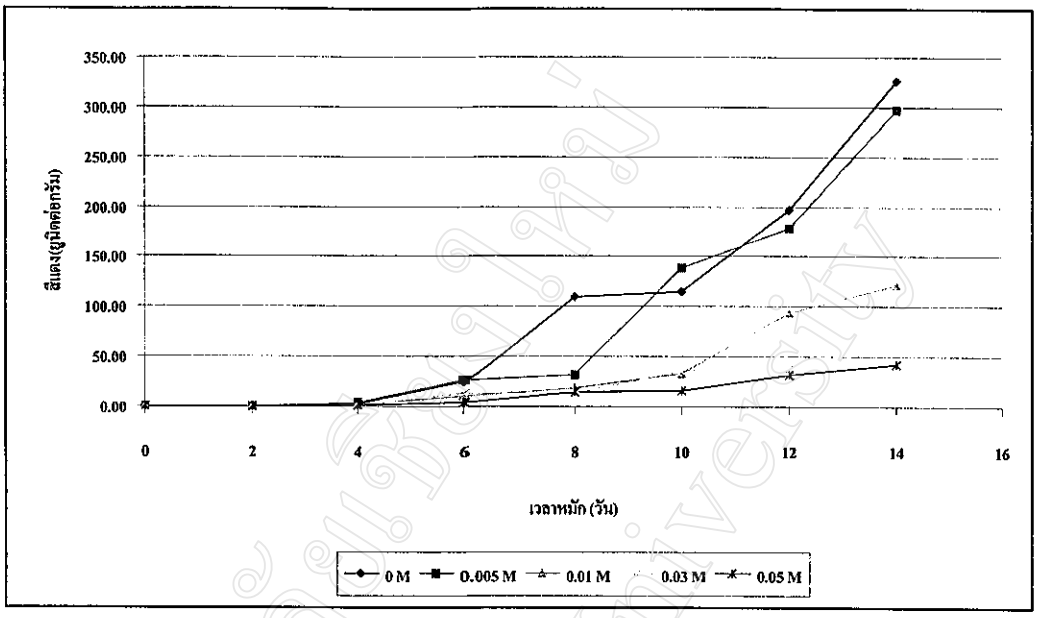
รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ระหว่างการหมักเชื้อ *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวเจ้าพิจิตรที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน



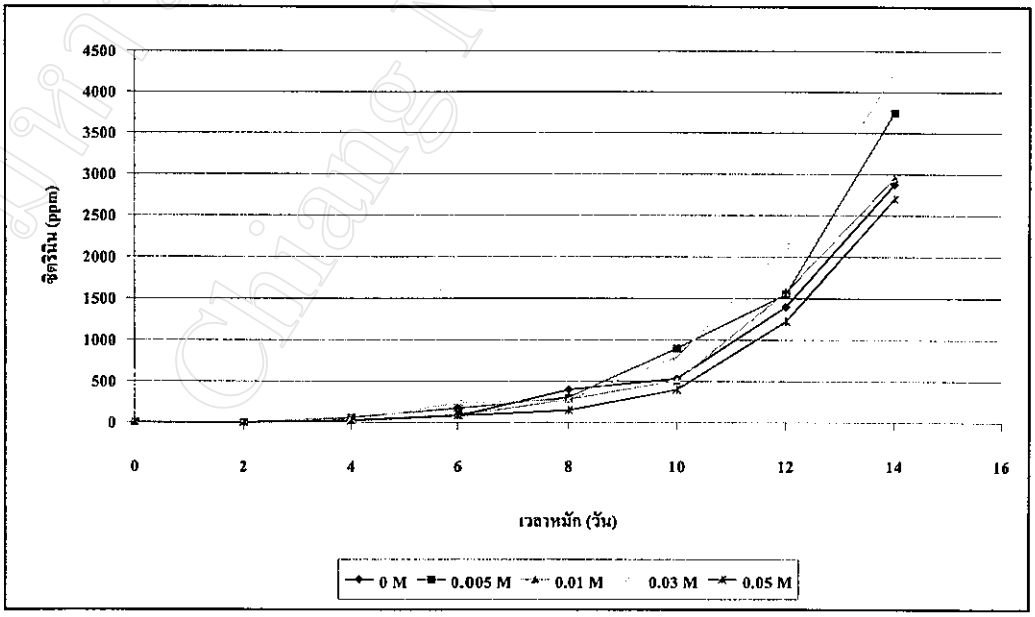
รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าสี Hue ระหว่างการหมักเชื้อ *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวเจ้าพิจิตรที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงของข้าวแดงระหว่างการหมัก สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มข้าวที่มีการเติมโซเดียมอะซิเตตที่ความเข้มข้นต่ำคือ 0 และ 0.005 M และกลุ่มข้าวที่มีการเติมโซเดียมอะซิเตตที่ความเข้มข้นสูงคือ 0.01, 0.03 และ 0.05 M โดยค่าสีแดงของกลุ่มแรกจะมีค่าคงที่เป็นศูนย์ในช่วง 4 วันแรกของการหมัก และจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 4 ถึงวันที่ 14 ของการหมัก สำหรับกลุ่มที่ 2 จะมีค่าสีแดงคงที่เป็นศูนย์ในช่วง 4 วันแรกของการหมักเช่นกัน แต่หลังจากนั้นค่าสีแดงจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงวันที่ 14 ของการหมัก แสดงว่าที่ความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตตตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.05 M มีผลในการยับยั้งการผลิตสีแดงของเชื้อรา โดยในวันที่ 14 ของการหมักข้าวแดงที่เติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0, 0.005, 0.01, 0.03 และ 0.05 M ค่าสีแดงจะมีค่าเท่ากับ 326.00, 297.20, 122.13, 94.60 และ 41.80 ยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.22) เมื่อหักเมล็ดข้าวแดงที่ผ่านการอบ พบว่าเมล็ดข้าวแดงที่หมักแบบไม่มีการเติมโซเดียมอะซิเตตจะมีสีแดงทั่วตลอดตั้งแต่ผิวนอกของข้าวจนถึงใจกลางเมล็ดข้าว ขณะที่ข้าวที่มีการเติมโซเดียมอะซิเตต โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นโซเดียมอะซิเตตสูงคือ 0.03 และ 0.05 M เมล็ดข้าวจะมีสีแดงบริเวณผิวนอกเข้ามาถึงด้านในเพียงเล็กน้อย แสดงว่าโซเดียมอะซิเตตมีผลยับยั้งการสร้างเส้นใยของเชื้อราทำให้เชื้อราไม่สามารถเจริญได้ทั่วเมล็ดข้าว

การเปลี่ยนแปลงปริมาณซิตรินินของข้าวแดงระหว่างการหมักที่เติมโซเดียมอะซิเตตที่ทุกความเข้มข้นจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะคงที่ในช่วง 4 วันแรกของการหมัก และจากนั้นซิตรินินจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงวันที่ 12 ของการหมัก และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระหว่างวันที่ 12 ถึงวันที่ 14 ของการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมักข้าวแดงที่มีการเติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0, 0.005, 0.01, 0.03 และ 0.05 M จะมีค่าซิตรินินเท่ากับ 2,875, 3,750, 2,950, 4,250 และ 2,700 ppm ตามลำดับ (รูปที่ 4.23) และพบว่ามีเพียงข้าวแดงที่เติมโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0.05 M เท่านั้น ที่มีปริมาณซิตรินินลดลงต่ำกว่าข้าวแดงที่ไม่มีการเติมโซเดียมอะซิเตต ซึ่งผลที่ได้ขัดแย้งกับการทดลองที่ 4.2 ที่รายงานว่าการเติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นตั้งแต่ 0.005 M ขึ้นไปในการผลิตข้าวแดงโดยเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 สามารถลดการสร้างซิตรินินได้ (รูปที่ 4.12) ความแตกต่างของผลการทดลองที่ได้อาจเกิดจากอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักที่แตกต่างกัน เนื่องจากเป็นการหมักที่อุณหภูมิห้อง และจากการสอบถามจากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จ.เชียงใหม่ รายงานว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเดือนกันยายน ปี พ.ศ.2545 ที่ใช้ในการทดลองที่ 4.2 มีค่าเท่ากับ 27.55 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ.2546 ที่ใช้ในงานทดลองที่ 4.3 มีค่าเท่ากับ 23.20 องศาเซลเซียส ซึ่งแตกต่างกันมาก จึงอาจส่งผลต่อค่าซิตรินิน และค่าสีแดงที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (ยูนิตต่อกรัม) ระหว่างการหมักเชื้อ *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวเจ้าพิจิตรที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซิตรินินระหว่างการหมักเชื้อ *M. purpureus* ATCC 16365 ในข้าวเจ้าพิจิตรที่เติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 14 วัน

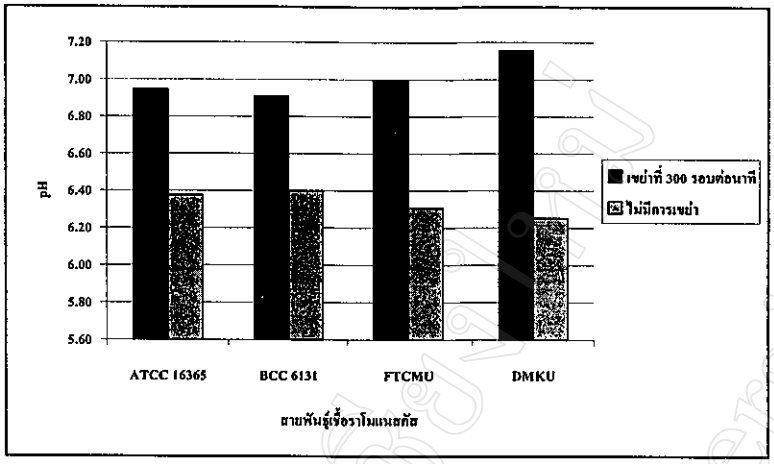
4.4 การหมักสารสีแดงโดยอาหารเหลวสังเคราะห์

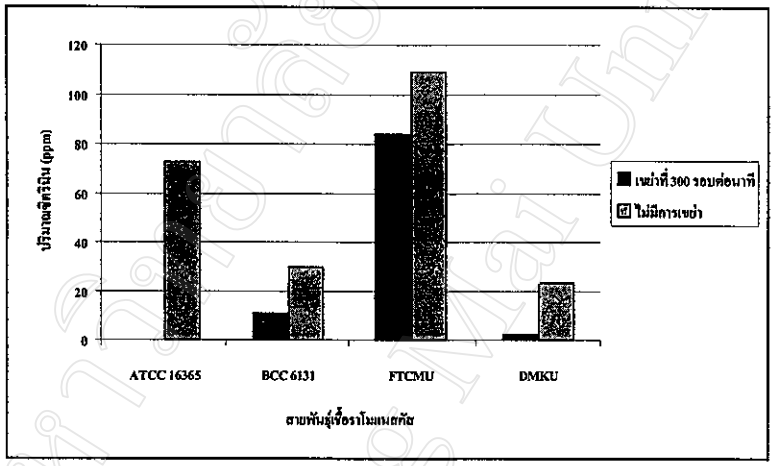
นอกจากการผลิตสารสีแดงโดยการหมักแบบแห้ง ซึ่งใช้ข้าวเป็นแหล่งอาหารสำหรับเชื้อรา *Monascus* sp. แล้ว ยังสามารถใช้อาหารเหลวสังเคราะห์ ซึ่งมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการผลิตสีแดงของเชื้อรา *Monascus* sp.

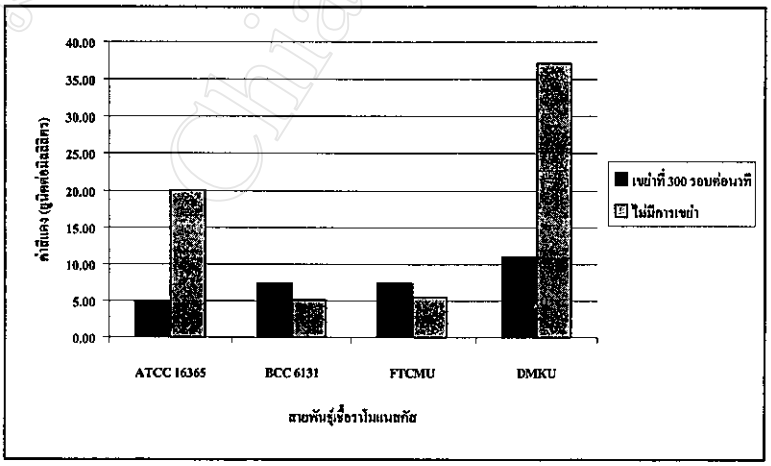
ค่าพีเอชของน้ำหมักสารสีแดงที่มีการเขย่าให้อากาศจะมีค่าอยู่ระหว่าง 6.91-7.16 ซึ่งสูงกว่าน้ำหมักสารสีแดงที่ไม่มีการเขย่าให้อากาศที่มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.25-6.40 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) น้ำหมักสารสีแดงโดยเชื้อรา *M. purpureus* DMKU ที่มีการเขย่าให้อากาศมีค่าพีเอชสูงที่สุดเท่ากับ 7.16 ส่วนค่าพีเอชที่ได้จากน้ำหมักสารสีแดงโดยเชื้อรา *M. purpureus* DMKU แบบไม่มีการเขย่าให้อากาศมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.25 นอกจากนี้พบว่าสายพันธุ์เชื้อรา *M. purpureus* มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อค่าพีเอชของน้ำหมัก (รูปที่ 4.24 และ ตารางที่ 4.12)

เมื่อพิจารณาค่าสีแดงพบว่าเชื้อรา *M. purpureus* DMKU ให้ค่าสีแดงสูงที่สุดทั้งการหมักแบบมีและไม่มีการเขย่าให้อากาศ โดยให้ค่าสีแดงเท่ากับ 11.08 และ 37.23 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 และ FTCMU ให้ค่าสีแดงต่ำทั้งสองสายพันธุ์ โดยค่าสีแดงที่ได้ต่ำกว่า 7.5 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ทั้งการหมักแบบเขย่าและไม่มีการเขย่าให้อากาศ เมื่อไม่มีการเขย่าให้อากาศเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 และ DMKU จะมีการสร้างสีแดงเพิ่มสูงขึ้น 4 เท่า และ 3 เท่า ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเชื้อรา *M. purpureus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ให้ค่าสีแดงของน้ำหมักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าสีแดงที่ได้จากเชื้อรา *M. purpureus* เรียงลำดับจากสูงไปหาต่ำคือ DMKU, ATCC 16365, FTCMU และ BCC 6131 ตามลำดับ และพบว่าการเขย่าให้อากาศยังมีผลให้ค่าสีแดงที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (รูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.11)

เมื่อพิจารณาปริมาณซิตรินินพบว่า การเขย่าให้อากาศในกระบวนการหมักจะทำให้ปริมาณซิตรินินลดลงอย่างชัดเจนในทุกสายพันธุ์เชื้อราโมแนสคัส โดยเฉพาะเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ที่ปริมาณซิตรินินลดลงจาก 72.6 ppm เหลือต่ำกว่า 0.015 ppm ซึ่งจากงานวิจัยของ Blanc และคณะ (1995(b)) ได้ทดลองเลี้ยงเชื้อรา *M. purpureus* ATCC 16365 ในอาหารเหลวสังเคราะห์สูตรเดียวกัน ได้ปริมาณซิตรินินที่วิเคราะห์โดย HPLC เท่ากับ 5 ppm







รูปที่ 4.24 ค่าพีเอช ค่าสีแดง และปริมาณซิตรินินของน้ำหมักจากการหมักเชื้อ *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในอาหารเหลวสังเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 10 วัน

เชื้อรา *M. purpureus* FTCMU สร้างซิตรินินสูงที่สุดทั้งการหมักแบบมีการเขย่าและแบบไม่มีการเขย่าให้อากาศ โดยมีปริมาณซิตรินินเท่ากับ 84 และ 109 ppm ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองการหมักแบบใช้ข้าวในขั้นตอนที่ 4.1 พบว่าเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU ให้ปริมาณซิตรินินสูงที่สุดในทุกชนิดของข้าวที่ใช้หมัก ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จึงสามารถบอกได้ว่า เชื้อรา *M. purpureus* FTCMU ให้ปริมาณซิตรินินสูงทั้งการหมักแบบแห้งในข้าวและในอาหารเหลว ส่วนเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 และ DMKU มีการสร้างซิตรินินในปริมาณต่ำ ทั้งในการหมักแบบเขย่าและแบบไม่เขย่าให้อากาศ โดยให้ปริมาณซิตรินินเท่ากับ 2.6 และ 23.4 ppm ตามลำดับ นอกจากจะให้ปริมาณซิตรินินที่ต่ำแล้วเชื้อรา *M. purpureus* DMKU ยังให้ปริมาณสีแดงที่สูงอีกด้วย เมื่อเทียบกับเชื้อราโมแนสคัสที่ใช้ในงานทดลองนี้ จึงควรมีการพัฒนาหาสภาวะที่เหมาะสมในการหมักเชื้อรา *M. purpureus* DMKU เพื่อผลิตสารสีแดงใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป จากการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ว่า ทั้งสายพันธุ์ของเชื้อรา *M. purpureus* และการให้อากาศมีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำหมัก ค่าสีแดง และปริมาณซิตรินิน ในการหมักสารสีแดงแบบใช้อาหารเหลวสังเคราะห์

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าพีเอช ค่าสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของน้ำหมักจากการหมักเชื้อรา *M. purpureus* 4 สายพันธุ์ ในอาหารเหลวสังเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 10 วัน

สายพันธุ์เชื้อราโมแนสคัส	ค่าพีเอช		ค่าสีแดง (ยูนิตต่อมิลลิลิตร)		ซิตรินิน (ppm)	
	เขย่า	ไม่เขย่า	เขย่า	ไม่เขย่า	เขย่า	ไม่เขย่า
ATCC 16365	$6.95^{c}\pm0.03$	$6.37^{b}\pm0.08$	$4.84^{a}\pm0.50$	$20.03^{f}\pm0.12$	<0.015	72.6
BCC 6131	$6.91^{c}\pm0.04$	$6.40^{b}\pm0.08$	$7.46^{d}\pm0.78$	$5.12^{b}\pm0.04$	11.1	30
FTCMU	$7.00^{c}\pm0.05$	$6.31^{a,b}\pm0.06$	$7.37^{d}\pm0.74$	$5.58^{c}\pm0.06$	84	109
DMKU	$7.16^{d}\pm0.04$	$6.25^{a}\pm0.07$	$11.08^{e}\pm0.05$	$37.23^{g}\pm0.12$	2.6	23.4

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแต่ละช่องตารางที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

นอกจากนี้แล้วยังมีการหาปริมาณซิตรินินและค่าสีแดงของข้าวแดงในท้องตลาดอีกด้วย ซึ่งพบว่าตัวอย่างข้าวแดงจากร้านขายยาสมุนไพรจีนในจังหวัดเชียงใหม่ และยาลดคอเรสเตอรอลจากประเทศจีนมีปริมาณซิตรินินเท่ากับ 104 และ 0.78 ppm ตามลำดับ และมีค่าสีแดงเท่ากับ 161.20 และ 67 ยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณซิตรินินและค่าสีแดงของข้าวแดงที่ได้ในการทดลอง พบว่าเชื้อรา *M. purpureus* BCC 6131 ที่หมักในข้าวเติมโซเดียมอะซิเตต 0.005 M มีคุณสมบัติดีที่สุดเนื่องจากให้ปริมาณซิตรินินต่ำที่สุดคือ 220 ppm (ตารางที่ 4.13) แต่ปริมาณยังสูงอยู่จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้บริโภค

ตารางที่ 4.13 ค่าสีแดง และปริมาณซิตรินินจากตัวอย่างข้าวแดงที่นำมาทดสอบและจากการทดลอง

ตัวอย่าง	ซิตรินิน (ppm)	ค่าสีแดง (ยูนิตต่อกรัม)
ข้าวแดงจากร้านยาในจังหวัดเชียงใหม่	104	161.20
ยาลดคอเรสเตอรอล	0.78	67.00
ATCC 16365 (0.05 M)*	2,700	48.68
BCC 6131 (0.005 M)*	220	53.00
FTCMU (0.00 M)*	2,200	167.40
DMKU (0.01 M)*	1,125	175.53

หมายเหตุ : * ตัวเลขในวงเล็บคือความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตต