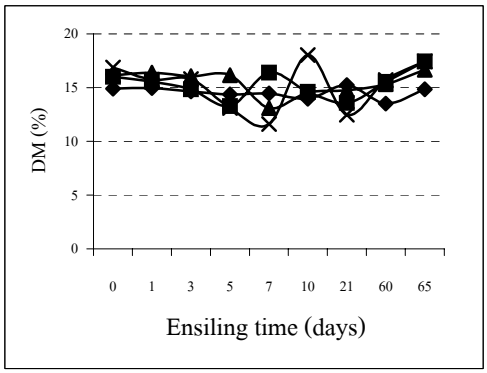
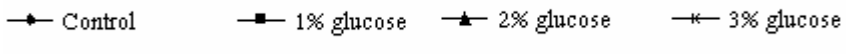
1. วัตถุแห้ง (dry matter; DM) พบว่า การเสริมกลูโคสระดับต่าง ๆ และระยะเวลาในการหมักที่ยาวนานออกไปไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ DM ($P>0.05$) แต่ DM มีความผันแปรในช่วงแคบ ๆ ในระหว่างการหมัก (ภาพที่ 14) สอดคล้องกับรายงานของ Whiter and Kung (2001) DM ของไซเลจอาจจะลดลงได้ในช่วงการหมักหรือการเก็บรักษาเป็นเวลานาน เนื่องจากการระเหยของกรดไขมันที่ระเหยง่าย (Hill *et al.*, 2001) อย่างไรก็ตาม ภายหลังการเปิดถุงไซเลจให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 5 วัน พบว่า DM มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากการระเหยของน้ำส่งผลให้ปริมาณ DM มีค่าสูงขึ้น ในทางตรงข้ามหาก DM มีปริมาณลดลงจะแสดงถึงการมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะราเส้นใย และแบคทีเรียจำพวก Heterofermention ซึ่งจะเปลี่ยนน้ำตาลและผลิตภัณฑ์จากการหมักในไซเลจให้เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ซึ่งจะทำให้สูญเสีย DM ในรูปของความร้อนและแก๊ซ (Woolford and Pahlow, 1998; Muck, 1996; Oude Elferink *et al.*, 2004)

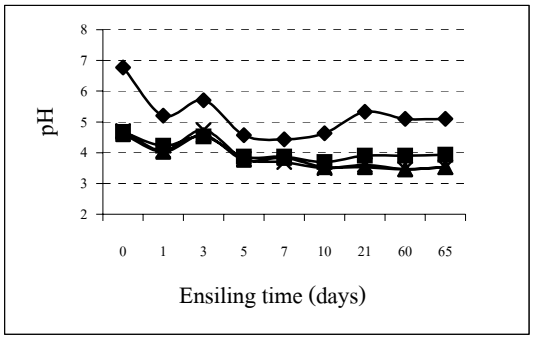



ภาพที่ 14 ผลของระดับกลูโคสต่อปริมาณวัตถุแห้งในไซเลจที่ระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน




2. พีเอช การเสริมกลูโคสระดับต่าง ๆ ในพืชก่อนการหมักส่งผลให้ไซเลจมีพีเอชแตกต่างกันอย่างชัดเจน ($P<0.01$) โดยไซเลจกลุ่มควบคุมมีพีเอชสูงที่สุด รองลงมาคือไซเลจกลุ่มที่เสริมกลูโคส 1% ส่วนไซเลจกลุ่มที่เสริมกลูโคส 2% และ 3% มีพีเอชไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) และมีค่าต่ำกว่าไซเลจกลุ่มอื่น ๆ สำหรับระยะเวลาในการหมักต่อการเปลี่ยนแปลงของพีเอช พบว่าพีเอชลดต่ำลงจนกระทั่งถึงระดับที่เหมาะสมในการรักษาคุณภาพของไซเลจ คือ 3.8-4.2 เมื่อทำการหมักได้เพียง 5 วัน และยังคงระดับอยู่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลร่วมของปริมาณกลูโคสและระยะเวลาในการหมักยังมีผลต่อพีเอชของไซเลจอีกด้วย จะเห็นว่า การเติมกลูโคสลงในพืชก่อนทำการหมักจะทำให้ค่าพีเอชของไซเลจลดลงในระดับที่จะรักษาคุณภาพของไซเลจได้ตั้งแต่ทำการหมักได้เพียง 1 วันเท่านั้น (ภาพที่ 15) ในขณะที่ไซเลจกลุ่มควบคุมนอกจากจะ

มีพีเอชโดยเฉลี่ยสูงแล้วยังมีความแปรปรวนสูงอีกด้วย เป็นที่น่าสังเกตว่าภายหลังทำการหมัก (วันแรกของการหมัก) ไซเลจกลุ่มที่เสริมกลูโคส มีระดับพีเอชต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องจากในขั้นตอนการเติมหัวเชื้อลงในพืชก่อนการหมัก การบรรจุพืชลงในถุงหมักและการผนึกถุงเพื่อป้องกันอากาศเข้าไปในถุงหมักใช้เวลาค่อนข้างนาน (4-6 ชั่วโมง) ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวแบคทีเรียกรดแลคติกสามารถเติบโตและผลิตกรดแลคติกได้ จึงทำให้พีเอชต่ำลง ส่วนไซเลจกลุ่มควบคุมมีพีเอชค่อนข้างสูง และลดลงเพียงเล็กน้อยในช่วงการหมักที่ยาวนานออกไป แสดงถึงการมีปริมาณน้ำตาลจำกัด ในช่วงการเปิดถุงไซเลจให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 5 วันจะเห็นว่าไซเลจที่หมักด้วยการเสริมกลูโคส 1% มีพีเอชเพิ่มขึ้นในขณะที่ไซเลจกลุ่มที่หมักด้วยกลูโคส 2-3% ยังคงมีพีเอชไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากไซเลจที่หมักโดยเสริมกลูโคส 1% มีปริมาณกรดไม่พอเพียงต่อการรักษาระดับพีเอช นอกจากนี้ ไซเลจกลุ่มนี้ยังมีค่า BC ต่ำจึงทำให้พีเอชเปลี่ยนแปลงได้ง่าย Aminah *et al.* (2004) รายงานว่า ไซเลจจากพืชอาหารสัตว์เขตร้อนมักมีพีเอชสูงกว่าระดับพีเอชที่เหมาะสมที่จะรักษาคุณภาพของพืชหมัก ปัญหานี้อาจแก้ไขได้ด้วยการเติมกากน้ำตาลลงไปในพืชก่อนการหมักประมาณ 4% ซึ่งจะช่วยให้ค่าพีเอชของพืชหมักลดเหลือ 3.0-3.6 ซึ่งใกล้เคียงกับการเสริมกลูโคส 2-3%ในการทดลองนี้

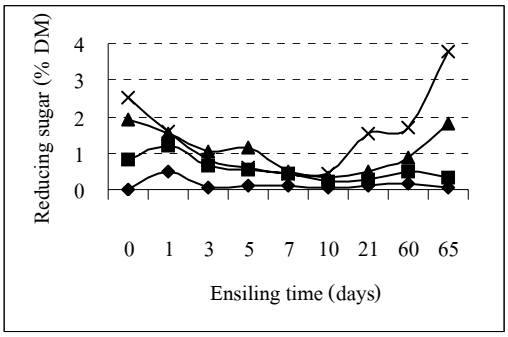



ภาพที่ 15 ผลของระดับกลูโคสต่อค่าพีเอชในไซเลจที่ระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน



3. น้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า ปริมาณกลูโคสที่เสริมลงในพืชก่อนการหมัก ระยะเวลาในการหมัก และอิทธิพลร่วมของปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซเลจอย่างชัดเจน ($P<0.01$) ไซเลจที่หมักโดยเสริมกลูโคสระดับสูงจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซเลจสูงตามไปด้วย ด้านระยะเวลาในการหมักต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซเลจ พบว่า ระดับน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าสูงสุดในวันแรกของการหมัก จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อทำการหมักได้ 3 วัน การลดลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในระยะการหมักหลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน โดยไซเลจกลุ่มควบคุม

และกลุ่มที่เสริมกลูโคส 1% มีปริมาณค่อนข้างคงที่ภายหลังการหมักได้ 5 วันจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ในขณะที่กลุ่มที่หมักโดยเสริมกลูโคส 2% และ 3% มีปริมาณลดลงในช่วง 3-7 วันของการหมัก จากนั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 16) ไซเลจกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมกลูโคส 1% มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำเนื่องจากถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆในกระบวนการหมัก ส่วนไซเลจ กลุ่มที่เสริมกลูโคส 2% และ 3% ยังคงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่สูง เนื่องจากมีพีเอชต่ำซึ่งจะยับยั้งการเติบโต และการแสดงกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งแบคทีเรียกรดแลคติกด้วย ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ถูกนำไปใช้จำกัด Harrison *et al.* (1998) รายงานว่า การที่น้ำตาลถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วและยังคงเหลือปริมาณมากแสดงถึงการหมักที่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม หากมีปริมาณน้ำตาลในพืชก่อนการหมักมากเกินไป จะทำให้ไซเลจไม่ทนต่อสภาพอากาศในช่วงการนำไปเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากน้ำตาลจะเป็นแหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะพวกที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อไซเลจ ดังนั้น การมีระดับน้ำตาลในพืชก่อนการหมักที่เหมาะสมภายใต้การจัดการที่ถูกต้องจะทำให้การหมักไซเลจมีคุณภาพยิ่งขึ้น ซึ่ง Ohmomo *et al.* (2002) รายงานว่าระดับน้ำตาลรีดิวซ์ในวัตถุดิบก่อนการหมักไซเลจควรมีมากกว่า 2% ในขณะที่ McDonald (1981) พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ในพืชก่อนการหมักควรมีไม่ต่ำกว่า 6-12% จึงจะทำให้การหมักไซเลจมีประสิทธิภาพดี

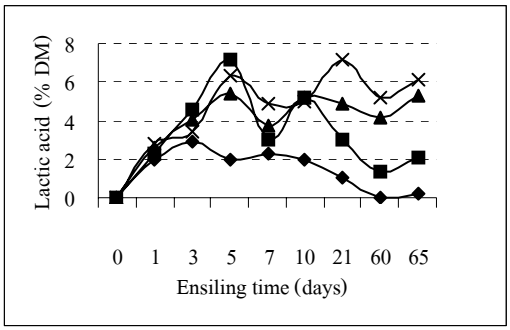



ภาพที่ 16 ผลของระดับกลูโคสต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของไซเลจที่ระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน

Control 1% glucose 2% glucose 3% glucose

4. กรดแลคติก พบว่า ระดับกลูโคสที่เสริมลงในพืชก่อนการหมัก ระยะเวลาในการหมัก และอิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัย มีผลอย่างยิ่งต่อปริมาณกรดแลคติกในไซเลจ ($P<0.01$) โดยระดับที่เสริมลงในพืชก่อนการหมัก 3% ทำให้ไซเลจมีปริมาณกรดแลคติกสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเสริมที่ระดับ 2% ส่วนไซเลจกลุ่มควบคุมมีปริมาณกรดแลคติกต่ำที่สุด ($P<0.05$)

ด้านการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแลคติกในไซเลจ พบว่า ปริมาณกรดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในไซเลจทุกกลุ่มในช่วง 3 วันแรกของการหมัก จากนั้นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในไซเลจกลุ่มควบคุมจะแตกต่างไปจากกลุ่มที่เสริมกลูโคสโดยปริมาณกรดแลคติกในกลุ่มควบคุมลดลงเล็กน้อย และคงระดับอยู่ในช่วง 5-10 วันของการหมัก จากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนกระทั่งถึงวันที่ 60 ของการหมัก ในขณะที่ไซเลจกลุ่มที่หมักโดยเสริมกลูโคสทุกระดับมีปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นไปจนถึงอายุการหมักที่ 5 วัน จากนั้นปริมาณกรดมีความแปรปรวนค่อนข้างสูงและมีระดับต่ำลงในช่วง 21-60 วันของการหมัก สำหรับช่วงการทดสอบความทนต่อสภาพอากาศพบว่าไซเลจทุกกลุ่มมีปริมาณกรดสูงขึ้น (ภาพที่ 17) ความแปรปรวนของปริมาณกรดแลคติกในไซเลจทุกกลุ่มในช่วงการหมักหรือการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้นอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมภายในถุงหมักของแต่ละหน่วยทดลอง จากรายงานการศึกษาที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดแลคติกมีทั้งเพิ่มขึ้น (Whiter and Kung, 2001) ค่อนข้างคงที่ (Hristov and McAllister, 2002; Hill *et al.*, 2001) และลดลง (Bolsen *et al.*, 1992)



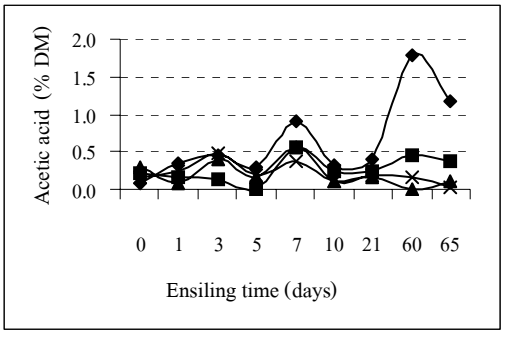

ภาพที่ 17 ผลของระดับกลูโคสต่อปริมาณกรดแลคติกของไซเลจที่ระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน

Control 1% glucose 2% glucose 3% glucose

อย่างไรก็ตาม ปริมาณกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและยังคงระดับอยู่จนกระทั่งนำไปใช้ประโยชน์เป็นดัชนีบ่งบอกถึงผลสำเร็จของการหมักไซเลจโดยใช้สารเสริม (Muck, 1993) ซึ่งลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นในไซเลจกลุ่มที่หมักโดยเสริมกลูโคส 2% และ 3%ในการทดลองครั้งนี้ ปริมาณกรดแลคติกลดลงค่อนข้างมากในช่วงหลังจากการหมัก 21 วันของไซเลจกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมกลูโคส 1% เนื่องจากไซเลจเหล่านี้มีพีเอชสูง กรดแลคติกจึงอาจถูกหมักต่อไปโดยจุลินทรีย์บางชนิดโดยเฉพาะยีสต์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนกรดแลคติกให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ (Schlegel, 1987) สำหรับกรดแลคติกของไซเลจที่เสริมกลูโคสที่เพิ่มขึ้นในช่วงการเปิดถุงให้

ไซเลจสัมผัสอากาศเกิดจากช่วงดังกล่าว ระดับพีเอชเพิ่มขึ้นทำให้แบคทีเรียกรดแลคติกกลับมาเติบโตและหมักน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติกได้

5. กรดอะซิติก พบว่า ปริมาณกลูโคสที่เติมลงในพืชก่อนการหมักแตกต่างกันทำให้ไซเลจมีปริมาณกรดอะซิติคแตกต่างกันชัดเจน ($P<0.01$) แต่ระยะเวลาในการหมักที่ยาวนานออกไปไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดดังกล่าว ($P>0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่าอิทธิพลร่วมของปริมาณกลูโคสที่เติมลงในพืชก่อนการหมักและระยะเวลาในการหมักก็มีผลต่อปริมาณกรดอะซิติกในไซเลจ ($P<0.01$) อีกด้วย ไซเลจกลุ่มควบคุมมีปริมาณกรดอะซิติกสูงที่สุด ในขณะที่กลุ่มที่เสริมกลูโคสระดับต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ภาพที่ 18 จะเห็นว่าปริมาณกรดอะซิติกถูกผลิตขึ้นตั้งแต่วันแรกของการหมัก เนื่องจากในช่วงการเตรียมการหมักซึ่งใช้เวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมง จุลินทรีย์จำพวก Heterofermentative bacteria และ เอนเทอโรแบคทีเรียสามารถผลิตกรดดังกล่าวได้ (McDonald *et al.*, 1981) แต่เนื่องจากมีระยะเวลาสั้น ทำให้ปริมาณกรดอะซิติกที่ตรวจพบในไซเลจแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน หลังจากนั้นไซเลจกลุ่มควบคุมจะมีปริมาณกรดอะซิติกสูงกว่ากลุ่มที่เสริมกลูโคสตลอดการทดลอง เนื่องจากไซเลจกลุ่มนี้มีพีเอชสูงทำให้จุลินทรีย์ที่ผลิตกรดอะซิติกเติบโตได้ ส่วนไซเลจกลุ่มที่เสริมกลูโคสระดับต่าง ๆ ซึ่งมีพีเอชต่ำซึ่งจะยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ดังกล่าว ส่งผลให้มีปริมาณกรดอะซิติกต่ำตลอดการทดลอง

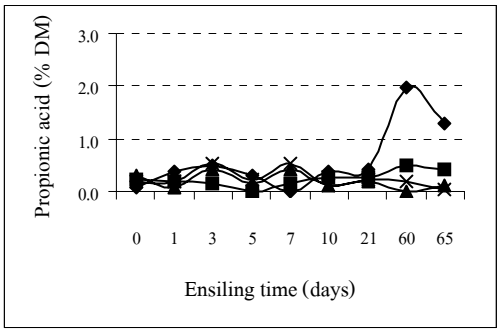



ภาพที่ 18 ผลของระดับกลูโคสต่อปริมาณกรดอะซิติกของไซเลจที่ระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน



6. กรดโปรปิโอนิคและกรดบิวทิริค พบว่า ปริมาณกลูโคสระดับต่าง ๆ ที่เติมลงในพืชก่อนการหมักทำให้ไซเลจมีปริมาณกรดโปรปิโอนิคแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) โดยที่ไซเลจกลุ่มควบคุมมีปริมาณกรดดังกล่าวสูงที่สุด ในขณะที่ไซเลจกลุ่มที่เสริมกลูโคสปริมาณต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) สำหรับระยะเวลาในการหมักที่ยาวนานออกไป

ปรากฏว่าไม่มีผลทำให้ปริมาณกรดโปรปิโอนิคเปลี่ยนแปลงมากนัก (P>0.05) อย่างไรก็ตาม ที่อายุการหมัก 60 วันและช่วงการทดสอบความทนต่อสภาพอากาศ พบว่า ไซเลจกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่หมักโดยเสริมกลูโคส 1% มีปริมาณกรดโปรปิโอนิคสูงขึ้น เนื่องจากช่วงดังกล่าวไซเลจเหล่านี้มีพีเอชค่อนข้างสูง ซึ่งในสภาวะดังกล่าวรวมทั้งการที่มีความชื้นของไซเลจสูงและอยู่ในสภาพไร้อากาศจะทำให้เชื้อคลอสตริเดียมเจริญขึ้นมาและเปลี่ยนกรดอะมิโนบางชนิด เช่น อะลานิน (alanine) ให้เป็นกรดโปรปิโอนิคได้ (Woolford and Pahlow, 1998) อย่างไรก็ตาม กรดชนิดนี้มักพบปริมาณต่ำ (< 0.2-0.3% DM) ในไซเลจที่มีความชื้นต่ำ (35-45% DM) แต่ในไซเลจที่มีความชื้นสูง (< 25% DM) กรดชนิดนี้อาจจะมีปริมาณสูงขึ้น (Kung and Shaver, 2004) นอกจากนี้ในสภาวะดังกล่าว แม้ว่าไซเลจจะมี พีเอช ต่ำกว่า 4 ก็อาจจะไม่สามารถยับยั้งเชื้อดังกล่าวได้ (Woolford and Pahlow, 1998) การเปลี่ยนแปลงของกรดโปรปิโอนิคในไซเลจกลุ่มต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 19 สำหรับกรดบิวทิริค ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการหมักโดยจุลินทรีย์จำพวกคลอสตริเดียมเช่นเดียวกัน แต่ตรวจไม่พบในไซเลจทุกกลุ่มในการทดลองนี้

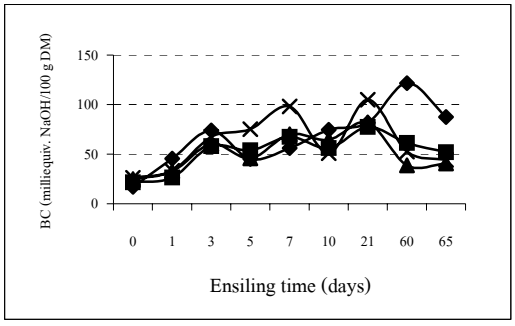



ภาพที่ 19 ผลของระดับกลูโคสต่อปริมาณกรดโปรปิโอนิคของไซเลจที่ระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน

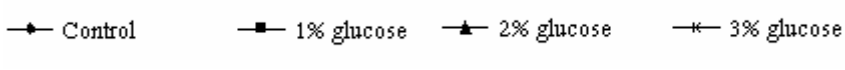
Control 1% glucose 2% glucose 3% glucose

7. บัฟเฟอริงคาปาซิตี (buffering capacity, BC) เป็นค่าบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านการเปลี่ยนแปลงพีเอช ซึ่งหากไซเลจมี BC สูง การเปลี่ยนแปลงพีเอชจะเกิดขึ้นยาก อย่างไรก็ตาม ไซเลจที่มี BC สูงอาจแสดงถึงการมีปริมาณกรดบิวทีริคและกรดอะซิติกสูงด้วย เนื่องจากกรดเหล่านี้มีค่า BC สูง (Playne and McDonald, 1966) ผลการทดลองครั้งนี้ พบว่าไซเลจทุกกลุ่มมี BC สูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งทำการหมักได้ 21 วัน ไซเลจกลุ่มที่เสริมกลูโคสจึงมีค่า BC ลดลง และคงระดับไปจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ในขณะที่ไซเลจกลุ่มควบคุมยังคงมี BC สูงยิ่งขึ้น แต่ลดลงภายหลังการทดสอบความทนต่อสภาพอากาศ (ภาพที่ 20) การที่ไซเลจกลุ่มควบคุมมีค่า BC สูง

เนื่องจากไซเลจกลุ่มนี้มีปริมาณกรดอะซิติกสูง David and Patrick (2001) กล่าวว่า ไซเลจที่มีปริมาณกรดแลคติกสูงก็อาจทำให้ BC สูงได้ในช่วงการทดสอบความคงทนต่อสภาพอากาศ เนื่องจากกรดแลคติกจะถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น $CO_2$ และ $H_2O$ โดยยีสต์บางชนิดซึ่งจะทำให้พีเอชของไซเลจสูงขึ้น ผลที่ตามมา คือ จุลินทรีย์จำพวกเอนเทอโรแบคทีเรียจะใช้น้ำตาลที่เหลือในไซเลจผลิตกรดอะซิติก เอธานอล คาร์บอนไดออกไซด์และ น้ำ ทำให้ค่า BC สูงขึ้น




ภาพที่ 20 ผลของระดับกลูโคสต่อค่า BC ของไซเลจที่ระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน




สำหรับไซเลจที่หมักโดยเสริมกลูโคส 3% ซึ่งมีแนวโน้มของค่า BC สูงกว่าไซเลจที่เสริมกลูโคส 1% และ 2% อาจเกิดจากการมีกรดอินทรีย์สูง เนื่องจากกรดอินทรีย์ในไซเลจมี BC สูงกว่ากรดอินทรีย์ในพืชก่อนการหมัก (Playne and McDonald, 1966) นอกจากนี้ กระบวนการ Deamination ของกรดกลูตามิก (glutamic acid) โดยจุลินทรีย์จำพวกคลอสตริเดียม ก็จะทำให้เกิดกรดอะซิติกขึ้น (McDonald *et al.*, 1995) ซึ่งจะทำให้ค่า BC ในไซเลจสูงขึ้นได้เช่นกัน

### 3.3 ผลของหัวเชื้อสำเร็จต่อประสิทธิภาพการหมักและคุณค่าทางโภชนะของไซเลจ

หัวเชื้อที่ใช้หมักไซเลจโดยทั่วไปเป็นหัวเชื้อที่ทำแห้งโดยวิธีเยือกแข็ง (freeze dried) ซึ่งก่อนการเสริมลงในพืชอาจละลายน้ำให้อยู่ในรูปของหัวเชื้อเหลว หรือหัวเชื้อแห้งที่ทำให้เป็นเม็ดเล็ก ๆ (granule) แต่การใช้ในรูปหัวเชื้อเหลวจะทำให้จุลินทรีย์เติบโตได้เร็วกว่า (Whiter and Kung, JR., 2001) อย่างไรก็ตาม หัวเชื้อซึ่งทำแห้งโดยวิธีเยือกแข็งมีต้นทุนสูง ดังนั้นจึงมีการศึกษาการใช้หัวเชื้อสำเร็จที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งมีต้นทุนการผลิตต่ำในการหมักไซเลจโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่หมักปรกติ (S-1), กลุ่มที่หมักโดยเสริมกากน้ำตาล (S-2) และกลุ่มที่หมักโดยเสริมกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อสำเร็จ (S-3) ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 24