

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษากระบวนการผลิตวัตถุดิบในกลุ่มผัก

ตอนที่ 1.1 ศึกษาแหล่งของวิตามินซี เบต้า-แคโรทีนโฟเลต และแคลเซียม จากพืชในกลุ่มผักของมูลนิธิโครงการหลวง

จากศึกษาข้อมูลของพืชในกลุ่มผักที่มีปัญหาจากผลผลิตไม่ได้ตามขั้นมาตรฐานของมูลนิธิโครงการหลวง ซึ่งประกอบไปด้วย ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม ผักกาดหางหงส์ ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโคลี่ ถั่วแขก และถั่วลันเตา โดยศึกษาข้อมูลย้อนหลัง ในปี พ.ศ. 2552 – 2554 พบว่า มีร้อยละของผลผลิตไม่ได้ตามขั้นมาตรฐาน ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ร้อยละของผลผลิตที่ได้ไม่ได้ตามขั้นมาตรฐานของพืชในกลุ่มผัก

ชนิดของผัก	ร้อยละของผลผลิตที่ได้ไม่ได้ตามขั้นมาตรฐาน			เฉลี่ย
	ปี 2552	ปี 2553	ปี 2554	
ผักกาดขาวปลี	7.35	3.16	4.69	5.07 ± 2.12ab
ผักกาดหอม	4.84	10.30	9.76	8.30 ± 3.01a
ผักกาดหางหงส์	2.47	1.24	0.14	1.28 ± 1.17b
ผักกาดหวาน	4.31	8.10	10.13	7.51 ± 2.95ab
ปวยเล้ง	6.99	8.95	5.00	6.98 ± 1.98ab
กะหล่ำปลี	1.37	1.64	1.03	1.35 ± 0.31ab
บล๊อคโคลี่	6.23	10.59	5.60	7.47 ± 2.72ab
ถั่วแขก	6.52	9.15	1.00	5.56 ± 4.16ab
ถั่วลันเตา	0.44	0.11	1.84	0.80 ± 0.92b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวหมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 22 พบว่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ไม่ได้ตามขั้นมาตรฐานในแต่ละปีนั้นค่อนข้างแตกต่างกันและมีแนวโน้มไม่เกินไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิมอย่างเห็นได้ชัด โดยผักกาดหอมมีร้อยละของผลผลิตที่ได้ไม่ได้ตามขั้นมาตรฐานมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างจาก ผักกาดขาวปลี ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโคลี่ และถั่วแขก ส่วนผักกาดหางหงส์และ ถั่วลันเตา มีร้อยละของผลผลิตที่ได้ไม่ได้ตามขั้นมาตรฐานแตกต่างจากผักกาดหอม คือ มีร้อยละของ

ผลผลิตผักที่ไม่ได้ตามขั้นมาตรฐานน้อยกว่า แต่ผักกาดหางหงส์และถั่วลันเตามีร้อยละของผลผลิตผักที่ไม่ได้ตามขั้นมาตรฐานไม่แตกต่างจากผักกาดขาวปลี ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโกลี และถั่วแขก

จากนั้นศึกษาปริมาณวิตามินซีแคลเซียม และสำรวจข้อมูลโฟเลต และเบต้า-แคโรทีนของผักทั้ง 9 ชนิด คือ ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม ผักกาดหางหงส์ ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโกลี ถั่วแขก และถั่วลันเตา จากแหล่งอ้างอิง ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี แคลเซียมและข้อมูลที่ได้จากการสำรวจของปริมาณเบต้า-แคโรทีนและโฟเลต ในผักทั้ง 9 ชนิด

ชนิดพืช	ปริมาณสารอาหาร (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)			
	วิตามินซี	แคลเซียม	เบต้า-แคโรทีน**	โฟเลต**
ผักกาดขาวปลี	8.00 ± 1.13*	21.78	2.68	0.07
ผักกาดหอม	2.40 ± 0.00	15.49	0.30	0.03
ผักกาดหางหงส์	11.60 ± 0.57	27.15	-	-
ผักกาดหวาน	4.80 ± 0.00	19.48	5.22	0.14
ปวยเล้ง	19.20 ± 1.13	31.68	5.63	0.19
กะหล่ำปลี	18.40 ± 1.13	35.42	0.04	0.04
บล๊อคโกลี	54.00 ± 0.57	16.84	0.36	0.06
ถั่วแขก	2.40 ± 0.00	32.21	0.38	0.04
ถั่วลันเตา	33.20 ± 0.57	36.14	0.63	0.04

หมายเหตุ: *ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**ที่มา : www.nutritiondata.self.com, 2555

จากตารางที่ 23 แสดงให้เห็นว่า ผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีของผักทั้ง 9 ชนิด คือ ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม ผักกาดหางหงส์ ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโกลี ถั่วแขก และถั่วลันเตา มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 8.00 2.40 11.60 4.80 19.20 18.40 54.00 2.40 33.20 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ โดยมีผักที่มีปริมาณวิตามินซีสูง คือ บล๊อคโกลี รองลงมาได้แก่ ถั่วลันเตา ปวยเล้ง กะหล่ำปลี ผักกาดหางหงส์ ผักกาดขาวปลี ผักกาดหวาน ผักกาดหอมและถั่วแขก ส่วนปริมาณแคลเซียมของผักทั้ง 9 ชนิด คือ ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม ผักกาดหางหงส์ ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโกลี ถั่วแขก และถั่วลันเตา มีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ

21.78 15.49 27.15 19.48 31.68 35.42 16.84 32.21 และ 36.14 ตามลำดับ โดยผักที่มีปริมาณแคลเซียมค่อนข้างสูง ได้แก่ ถั่วลันเตา กะหล่ำปลี ถั่วแขก ปวยเล้ง และผักกาดหางหงส์

จากการสำรวจข้อมูลปริมาณเบต้า-แคโรทีนในผัก พบว่า ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโคลี่ ถั่วแขก และถั่วลันเตา มีปริมาณเบต้า-แคโรทีนเท่ากับ 26.81 2.99 52.25 56.26 0.42 3.61 3.79 6.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ สำหรับปริมาณโฟเลตในผัก พบว่า ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโคลี่ ถั่วแขก และถั่วลันเตา มีปริมาณโฟเลตเท่ากับ 0.66 0.29 1.36 1.94 0.43 0.63 0.37 0.42 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ ส่วนผักกาดหางหงส์ไม่พบข้อมูลของปริมาณเบต้า-แคโรทีนและโฟเลต

จากนั้นนำข้อมูลวิตามินซี แคลเซียม โฟเลตและเบต้า-แคโรทีนที่ได้ศึกษาในผักทั้ง 9 ชนิด มาสกัดเป็นน้ำผักเข้มข้น ทำการศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงเส้น ร่วมกับการใช้ข้อมูลปริมาณสารอาหารที่คนไทยควรได้รับแต่ละวัน (Thai RDI) ดังตารางที่ 24 ยกเว้นปริมาณของเบต้า-แคโรทีนที่แนะนำให้บริโภคประจำวันได้กำหนดค่าเป้าหมายโดยเทียบกับวิตามินเอ เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาการได้รับเบต้า-แคโรทีนในคนไทยอย่างจริงจัง ประกอบกับภาวะขาดเบต้า-แคโรทีนยังมีข้อมูลไม่ชัดเจนว่าเป็นสาเหตุให้เกิดโรคทางโภชนาการ แม้ในต่างประเทศข้อมูลที่มีการศึกษามักจะเป็นการประเมินร่วมกับวิตามินเอในอาหารว่าได้รับวิตามินเอพอเพียงกับความต้องการหรือไม่ (กองโภชนาการ, 2546)

ตารางที่ 24 สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI)

ลำดับ	สารอาหาร	ปริมาณที่แนะนำต่อวัน	หน่วย
1.	ไขมันทั้งหมด	65	กรัม
2.	ไขมันอิ่มตัว	20	กรัม
3.	โคเลสเตอรอล	300	มิลลิกรัม
4.	โปรตีน	50	กรัม
5.	คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	300	กรัม
6.	ใยอาหาร	25	กรัม
7.	วิตามินเอ	800	ไมโครกรัม อาร์ อี
8.	วิตามินบี 1	1.5	มิลลิกรัม

ตารางที่ 24 สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) (ต่อ)

ลำดับ	สารอาหาร	ปริมาณที่แนะนำต่อวัน	หน่วย
9.	วิตามินบี 2	1.7	มิลลิกรัม
10.	ไนอะซิน	20	มิลลิกรัม เอ็น อี
11.	วิตามินบี 6	2	มิลลิกรัม
12.	โฟเลต	200	ไมโครกรัม
13.	ไบโอติน	150	ไมโครกรัม
14.	กรดแพนโทธิก	6	มิลลิกรัม
15.	วิตามินบี 12	2	ไมโครกรัม
16.	วิตามินซี	60	มิลลิกรัม
17.	วิตามินดี	5	ไมโครกรัม
18.	วิตามินอี	10	มิลลิกรัม แอลฟา-ที อี
19.	วิตามินเค	80	ไมโครกรัม
20.	แคลเซียม	800	มิลลิกรัม
21.	ฟอสฟอรัส	800	มิลลิกรัม
22.	เหล็ก	15	มิลลิกรัม
23.	ไอโอดีน	150	ไมโครกรัม
24.	แมกนีเซียม	350	มิลลิกรัม
25.	สังกะสี	15	มิลลิกรัม
26.	ทองแดง	2	มิลลิกรัม
27.	โพแทสเซียม	3,500	มิลลิกรัม
28.	โซเดียม	2,400	มิลลิกรัม
29.	แมงกานีส	3.5	มิลลิกรัม
30.	ซีลีเนียม	70	ไมโครกรัม
31.	ฟลูออไรด์	2	มิลลิกรัม
32.	โมลิบดีนัม	160	ไมโครกรัม
33.	โครเมียม	130	ไมโครกรัม

ที่มา: ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ. 2541

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาปริมาณของผักแต่ละชนิดโดยใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงเส้น จะต้องทำการกำหนดเป้าหมายคุณภาพของสารอาหาร ได้แก่ วิตามินซี แคลเซียม โฟเลต และเบต้า-แคโรทีนขึ้น โดยผักทั้ง 9 ชนิด คือ ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโคลี่ ถั่วแขก และถั่วลันเตา จะมีปริมาณวิตามินซี แคลเซียม เบต้า-แคโรทีนและโฟเลต ดังตารางที่ 25 อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้จะกำหนดปริมาณของสารอาหารเหล่านี้ไว้ที่ร้อยละ 30 ของข้อแนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป เนื่องจากสารอาหารบางชนิด เช่น วิตามินซี จะสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน หรือโดนแสง ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจึงกำหนดปริมาณสารอาหารต่างๆ ที่ต้องการจากผลิตภัณฑ์น้ำผักสกัดเข้มข้นไว้ดังนี้

-	วิตามินซี	กำหนดที่	18.00	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
-	แคลเซียม	กำหนดที่	240.00	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
-	โฟเลต	กำหนดที่	0.06	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
-	เบต้า-แคโรทีน	กำหนดที่	0.24	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 25 ปริมาณวิตามินซี แคลเซียม โฟเลตและเบต้า-แคโรทีนของวัตถุดิบผักที่ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มสารอาหารสูง

สารอาหาร (มิลลิกรัม)	ส่วนประกอบของวัตถุดิบต่อ 1 กิโลกรัม								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
วิตามินซี	80.00	24.00	116.00	48.00	192.00	184.00	540.00	24.00	332.00
แคลเซียม	217.80	154.90	271.50	194.80	316.80	354.20	168.40	322.10	361.40
โฟเลต	0.70	0.30	-	1.40	1.90	0.40	0.60	0.40	0.40
เบต้า-แคโรทีน	26.80	3.00	-	52.20	56.30	0.40	3.60	3.80	6.80
ต้นทุน (บาท)	14	23	17	19	38	11	31	11	42

หมายเหตุ: X₁ = ผักกาดขาวปลี X₂ = ผักกาดหอม X₃ = ผักกาดหางหงส์
 X₄ = ผักกาดหวาน X₅ = ปวยเล้ง X₆ = กะหล่ำปลี
 X₇ = บล๊อคโคลี่ X₈ = ถั่วแขก X₉ = ถั่วลันเตา

จากข้อมูลข้างต้น ได้แก่ ปริมาณวิตามินซี แคลเซียม โฟเลต และเบต้า-แคโรทีน ที่ต้องการต่อน้ำผัก 1 กิโลกรัม และปริมาณวิตามินซี แคลเซียม โฟเลต และเบต้า-แคโรทีน ที่มีอยู่ในผักทั้ง 9 ชนิด รวมถึงต้นทุนของราคาค่าผักดังกล่าว (ตารางที่ 25) สามารถสร้างสมการข้อจำกัด (Constrain) ขึ้นได้ดังนี้

วิตามินซี:	$80.0X_1 + 24.0X_2 + 116.0X_3 + 48.0X_4 + 192.0X_5$ $+ 184X_6 + 540X_7 + 24X_8 + 332X_9$	≥ 18.00
แคลเซียม:	$217.8X_1 + 154.2X_2 + 271.5X_3 + 194.8X_4 + 316.8X_5$ $+ 354.2X_6 + 168.4X_7 + 322.1X_8 + 361.4X_9$	≥ 240.00
โฟเลต:	$0.7X_1 + 0.3X_2 + 1.4X_4 + 1.9X_5 + 0.4X_6 + 0.6X_7 + 0.4X_8 + 0.4X_9$	≥ 0.06
เบต้า-แคโรทีน:	$26.8X_1 + 3.0X_2 + 52.2X_4 + 56.3X_5 + 0.4X_6 + 3.6X_7 + 3.8X_8 + 6.8X_9$	≥ 0.24
ต้นทุน:	$14X_1 + 23X_2 + 17X_3 + 19X_4 + 38X_5 + 11X_6 + 31X_7 + 11X_8 + 42X_9$	

เมื่อนำสมการข้อกำหนดดังกล่าว มาทำการแก้ไขสมการด้วยโปรแกรม GIPALS แล้วนำค่าส่วนผสมที่ได้ไปแทนในสมการข้อจำกัด เพื่อหาปริมาณส่วนผสมของผักทั้ง 9 ชนิด ปริมาณสารอาหารที่จะได้จากส่วนผสมดังกล่าว และต้นทุนของผลิตภัณฑ์ พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมของวัตถุดิบผักทั้ง 9 ชนิด ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูง คือ ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม ผักกาดหางหงส์ ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโคลี่ ถั่วแขก และถั่วลันเตา ร้อยละ 6.20 30.67 11.93 3.64 2.29 14.62 1.94 28.10 และ 0.61 ตามลำดับ (ตารางที่ 26) และมีปริมาณสารอาหารที่ได้จากการแทนค่าในสมการ คือ วิตามินซี แคลเซียม โฟเลต และเบต้า-แคโรทีน เท่ากับ 84.94 276.58 0.44 และ 7.58 มิลลิกรัมต่อส่วนผสมผัก 1 กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 27)

ตารางที่ 26 ส่วนผสมที่เหมาะสมของผักที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มสารอาหารสูง

ส่วนผสม	ปริมาณ (กิโลกรัม)	ร้อยละ
X_1 = ผักกาดขาวปลี	0.067	6.20
X_2 = ผักกาดหอม	0.332	30.67
X_3 = ผักกาดหางหงส์	0.129	11.93
X_4 = ผักกาดหวาน	0.039	3.64
X_5 = ปวยเล้ง	0.025	2.29
X_6 = กะหล่ำปลี	0.158	14.62
X_7 = บล๊อคโคลี่	0.021	1.94
X_8 = ถั่วแขก	0.304	28.10
X_9 = ถั่วลันเตา	0.007	0.61
รวม	1.082	100.00

ตารางที่ 27 สารอาหารของอัตราส่วนผักที่เหมาะสมที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่ม
สารอาหารสูงจากการแทนค่าสมการข้อจำกัด

สารอาหาร	เป้าหมาย	ผลิตได้
วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	≥ 18.00	84.94
แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	≥ 240.00	276.58
โฟเลต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	≥ 0.06	0.44
เบต้า-แคโรทีน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	≥ 0.24	7.58
ต้นทุน (บาทต่อกิโลกรัม)		18.48

ตอนที่ 1.2 ศึกษาวิธีการสกัดน้ำผักเข้มข้น

เมื่อได้สัดส่วนของผักที่เหมาะสม จากตอนที่ 1.1 นำมาทำการศึกษาวิธีการสกัดเพื่อให้ได้น้ำผักเข้มข้น โดยทำการสกัดเย็น แปรผันเวลา และอัตราส่วนน้ำต่อวัตถุดิบในกลุ่มผัก จากนั้นสกัดให้เข้มข้นด้วยระบบสุญญากาศ (Rotary evaporator) วางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial Experimental with 2 center points (ไพโรจน์, 2547) นำสิ่งทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี และแคลเซียม ได้ผลดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีในน้ำผักสกัดเข้มข้น

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	อัตราส่วนน้ำต่อผัก	ปริมาณแคลเซียม (mg/100 g)	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 g)
1		Control	15.44 ^c	2.46
2	3	1:1	18.33 ^d	Not detected
3	3	3:1	21.30 ^{bc}	Not detected
4	5	2:1	23.62 ^a	Not detected
5	7	1:1	20.31 ^{cd}	Not detected
6	7	3:1	22.47 ^{ab}	Not detected

จากตารางที่ 28 พบว่าน้ำผักที่ไม่ได้ทำการระเหย (Control) จะมีปริมาณแคลเซียม เท่ากับ 15.44 มิลลิกรัม/100 กรัม ส่วนวิตามินซีมีปริมาณ 2.46 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งเมื่อนำน้ำผักไปทำการระเหยให้เข้มข้นจะทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงเนื่องจาก วิตามินซีเป็นแร่ธาตุที่สลายตัวได้ง่าย

เมื่อได้รับความร้อนและแสง ส่วนปริมาณแคลเซียมในน้ำผักจะพบมากในกระบวนการทดลองที่ใช้เวลาในการสกัด 3 นาที และอัตราส่วนระหว่างผักและน้ำ เท่ากับ 2 : 1 จึงเลือกกระบวนการดังกล่าวในการสกัดน้ำผักเข้มข้น

ตอนที่ 2 ศึกษากระบวนการผลิตวัตถุดิบในกลุ่มชา

ตอนที่ 2.1 ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในชาแต่ละชนิด

ทำการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในชาเขียวกู่หลาน ชาอู่หลง และชาเขียวของมูลนิธิโครงการหลวง โดยใช้วิธี DPPH Method ให้ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ทำปฏิกิริยากับสารละลาย 1,1-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) ในเมทานอลเพื่อวิเคราะห์หาค่า IC_{50} ซึ่งแสดงถึงความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระ ที่ทำให้ความเข้มข้นของสารอนุมูลอิสระลดลงร้อยละ 50 โดยพิจารณาจากค่าที่มีค่าน้อย จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูง

เมื่อนำใบชาแห้งมาผ่านการสกัดมาตรวจวิเคราะห์ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในเชิงปริมาณวิเคราะห์หาค่า IC_{50} (มิลลิกรัมต่อลิตร) ดังตารางที่ 29 พบว่า ชาเขียวมีปริมาณ IC_{50} น้อยที่สุด คือเท่ากับ 60 มิลลิกรัมของตัวอย่างแห้งต่อลิตร ขณะที่ชาอู่หลง ชาเขียวกู่หลานชนิดหวาน และ ชาเขียวกู่หลานชนิดขมมีค่า IC_{50} เท่ากับ 180 900 และ 1,760 มิลลิกรัมของตัวอย่างแห้งต่อลิตร ตามลำดับ แสดงว่าชาเขียวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด จึงทำการคัดเลือกชาเขียวเพื่อนำไปศึกษาการสกัดน้ำชาเข้มข้นในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์ค่า The half maximal inhibitory concentration (IC_{50}) ของชาชนิดต่างๆ

ชนิดของชา	ค่า IC_{50} (มิลลิกรัมของตัวอย่างแห้งต่อลิตร)
ชาเขียวกู่หลานชนิดหวาน	900.00 $\pm$ 0.12*
ชาเขียวกู่หลานชนิดขม	1,760.00 $\pm$ 0.38
ชาอู่หลง	180 $\pm$ 0.03
ชาเขียว	60 $\pm$ 0.00

หมายเหตุ : * ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตอนที่ 2.2 ศึกษาวิธีการสกัดน้ำชาเข้มข้น

น้ำชาเขียวที่ผ่านการคัดเลือกจากตอนที่ 2.1 ศึกษาอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนน้ำต่อใบชา ทำการสกัดโดยทำการต้มกับน้ำ วางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial Experimental with 3 center points (ไพโรจน์ 2547) นำสิ่งทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH Method เพื่อหาค่า IC_{50} แสดงผลดังตารางที่ 30 โดยค่า IC_{50} ที่มีค่าน้อยแสดงถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่มีมากของน้ำชาเขียว

จากการศึกษาปริมาณ IC_{50} ของชาเขียวที่ได้จากการทดลอง (ตารางที่ 30) พบว่าเมื่อกำหนดให้อัตราส่วนของใบชาต่อน้ำเท่ากัน แล้วเพิ่มเวลาและอุณหภูมิในการสกัดมากขึ้น จะทำให้ค่า IC_{50} ลดลง แสดงว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดจะมีผลต่อค่า IC_{50} โดยอัตราส่วนของใบชาต่อน้ำเท่ากับ 1:10 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและเวลาที่ใช้ในการสกัดนาน 120 นาที จะทำให้ค่า IC_{50} ของน้ำชาที่ได้มีปริมาณต่ำที่สุด หรือมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดนั่นเอง

ตารางที่ 30 ผลการวิเคราะห์ค่า The half maximal inhibitory concentration (IC_{50}) ของชาเขียวที่ผ่านกระบวนการสกัดจากการแปรรูปอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนใบชาต่อน้ำ

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	อัตราส่วนใบชา ต่อน้ำ	ค่า IC_{50} (มิลลิกรัมต่อลิตร)
(1)	50	60	1:20	262.60±26.42*
a	70	60	1:20	165.24±4.33
b	50	120	1:20	108.34±7.45
ab	70	120	1:20	105.82±1.51
c	50	60	1:10	205.47±10.80
ac	70	60	1:10	23.69±0.29
bc	50	120	1:10	44.01±1.07
abc	70	120	1:10	10.59±0.20
Cp1	60	90	1:15	79.44±0.99
Cp2	60	90	1:15	87.00±3.61
Cp3	60	90	1:15	88.81±2.69

หมายเหตุ : * ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ค่าควบคุม; a = ระดับอุณหภูมิ; b = ระดับเวลา; Cp = จุดกึ่งกลาง

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์เชิงถดถอย เพื่อหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด เพื่อให้ค่า IC_{50} มีค่าน้อยที่สุด (Optimization) โดยใช้โปรแกรม Design Expert ver 6.0.2 ซึ่งสามารถถอดรหัสตัวแปรเพื่อให้ได้สมการที่แท้จริง แสดงดังตารางที่ 31 คือค่า IC_{50} ขึ้นกับความสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า IC_{50} ลดลง และอัตราส่วนของใบชาต่อน้ำที่เหมาะสมคือ 1:10 เนื่องจากมีความเข้มข้นของน้ำชามาก

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดชาเขียวด้วยการต้มในน้ำ คือ

อุณหภูมิ	70	องศาเซลเซียส
เวลา	120	นาที
อัตราส่วนใบชาต่อน้ำ	1:10	

ตารางที่ 31 สมการแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดน้ำชา เมื่ออัตราส่วนคงที่

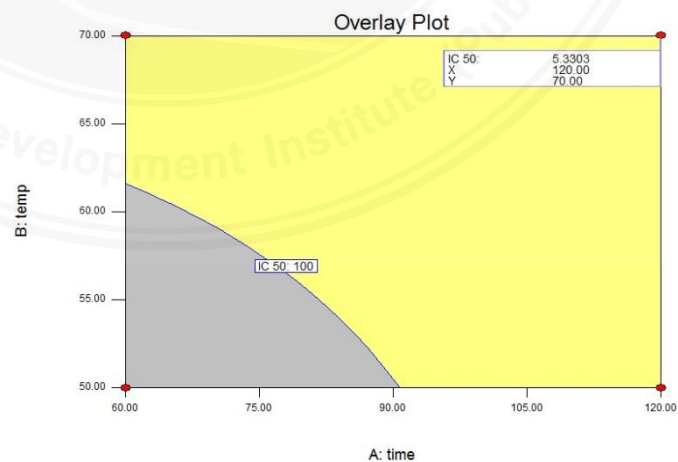
สมการ (Decoded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R^2
IC_{50}	$IC_{50} = +902.12 - 7.70 (\text{เวลา}) - 13.06 (\text{อุณหภูมิ}) + 8.96 (\text{อัตราส่วน}) + 0.1(\text{เวลา})(\text{อุณหภูมิ})$	0.9270

DESIGN-EXPERT Plot

Overlay Plot
● Design Points

X = A: time
Y = B: temp

Actual Factor
C: ratio = 10.00



ภาพที่ 19 กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำชา

ตอนที่ 3 ศึกษาชนิดของถั่วต่อปริมาณไฟโตเอสโตรเจนโดยใช้เทคนิคการหมักด้วยเชื้อบริสุทธิ์

ศึกษาชนิดของถั่วต่อปริมาณไฟโตเอสโตรเจน ชนิดไอโซฟลาโวน โดยชนิดของถั่วที่ทำการศึกษา ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วแดงหลวง ถั่วอะซูกิ และถั่วเหลืองผิวดำ ของมูลนิธิโครงการหลวง แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณสารไอโซฟลาโวน ชนิดกลูโคไซด์ ได้แก่ ปริมาณไดอินเจนินเจนิติน ไกลจิติน และชนิดอะไกลโคน ได้แก่ ปริมาณไดอินเจนินเจนิติน ไกลจิติน จากนั้นทำการคัดเลือกชนิดถั่วที่มีปริมาณสารไอโซฟลาโวนสูง แล้วนำถั่วที่ผ่านการคัดเลือกไปทำการหมักด้วยเชื้อบริสุทธิ์ (*Bacillus subtilis*) ในสภาวะการหมักแบบแห้ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำไปสกัดด้วยเอทานอล 2 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 4 นำสารละลายที่ได้ไประเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศจนเอทานอลออกหมดจึงได้เป็นน้ำถั่วหมักชีวภาพเข้มข้น

ตารางที่ 32 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไอโซฟลาโวน ชนิดกลูโคไซด์ในถั่วแต่ละชนิด

ชนิดของถั่ว	กลูโคไซด์ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)			
	ไดอินเจนิน	เจนิติน	ไกลจิติน	รวม
ถั่วแดงหลวง	0.00±0.00*	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
ถั่วอะซูกิ	0.00±0.00	0.00±0.00	0.17±0.01	0.17±0.01
ถั่วเหลือง	34.19±0.67	48.84±0.53	6.13±0.98	89.15±2.17
ถั่วเหลืองผิวดำ	20.30±0.44	21.65±0.00	6.72±0.60	48.66±1.03

หมายเหตุ : * ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 33 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไอโซฟลาโวน ชนิดอะไกลโคน ในถั่วแต่ละชนิด

ชนิดของถั่ว	อะไกลโคน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)			
	ไดอินเจนิน	เจนิติน	ไกลจิติน	รวม
ถั่วแดงหลวง	0.09±0.03*	0.11±0.08	0.05±0.08	0.20±0.18
ถั่วอะซูกิ	0.19±0.04	0.10±0.01	0.00±0.00	0.29±0.05
ถั่วเหลือง	8.44±0.98	6.65±0.20	1.26±0.80	16.35±1.98
ถั่วเหลืองผิวดำ	18.70±0.95	16.95±0.90	3.12±0.68	38.77±0.73

หมายเหตุ : * ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 32 และ 33 แสดงผลการศึกษาปริมาณไอโซฟลาโวนรวมชนิด กลูโคไซด์ และอะไกลโคน จากถั่วหมัก 4 ชนิด ได้แก่ ถั่วแดงหลวง ถั่วอะซูกิ ถั่วเหลือง และถั่วเหลืองผิวดำ

พบว่า ปริมาณไอโซฟลาโวนชนิด กลูโคไซด์รวมในถั่วเหลืองมีมากที่สุด เท่ากับ 89.15 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมา คือ ถั่วเหลืองผิวดำ เท่ากับ 48.66 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ถั่วอะซูกิพบน้อยมาก เท่ากับ 0.17 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และไม่พบในถั่วแดงหลวง ส่วนของปริมาณไอโซฟลาโวนชนิดอะไกลโคนรวมพบว่า ถั่วเหลืองผิวดำ มีปริมาณ อะไกลโคนรวมมากที่สุด คือ 38.77 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมา คือ ถั่วเหลือง เท่ากับ 16.35 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ถั่วอะซูกิ เท่ากับ 0.29 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และ ถั่วแดงหลวงมีปริมาณ อะไกลโคนรวม น้อยที่สุดเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง แต่เนื่องด้วยถั่วเหลืองเป็นผลผลิตที่มูลนิธิโครงการหลวงไม่ได้ทำการส่งเสริมการเพาะปลูก ทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้ถั่วเหลืองผิวดำในการวิจัย ทั้งนี้ถั่วเหลืองผิวดำมีปริมาณไอโซฟลาโวนชนิด อะไกลโคนรวมมากที่สุด และมีปริมาณไอโซฟลาโวนชนิด กลูโคไซด์รวมรองจากถั่วเหลือง

ตอนที่ 4 ศึกษาอัตราส่วนของเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม โดยใช้น้ำเคปทูลเบอร์รี่ น้ำผักเข้มข้น น้ำชา และน้ำถั่วหมักชีวภาพ ที่เหมาะสม

ทำการศึกษาอัตราส่วนของเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่มที่เหมาะสม โดยเติมน้ำเคปทูลเบอร์รี่ เพื่อใช้เป็นแหล่งวิตามินซีจากธรรมชาติให้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูง เนื่องจากวิตามินซีที่มีอยู่ในผักสลายตัวจากกระบวนการทำระเหย เพื่อให้ได้น้ำผักเข้มข้น อีกทั้งน้ำเคปทูลเบอร์รี่มีรสเปรี้ยว สามารถช่วยในการปรับปรุงกลิ่นรส และปรับค่าความเป็นกรดด่างให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิในกระบวนการฆ่าเชื้อ ทำให้สามารถยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ โดยการศึกษาอัตราส่วนของส่วนผสมเครื่องดื่มสารอาหารสูง ซึ่งได้แก่น้ำเคปทูลเบอร์รี่ น้ำผักเข้มข้น น้ำชา และน้ำถั่วหมักชีวภาพ วางแผนการทดลองแบบ Mixture Design (ไพโรจน์, 2547) ระดับของปัจจัยที่ศึกษาดังตารางที่ 34 คือ น้ำเคปทูลเบอร์รี่ เป็นส่วนผสมหลักมีปริมาณมากที่สุด ตามด้วยน้ำผักสกัดเข้มข้น เนื่องจากน้ำชาที่สกัดได้มีรสชาติที่ค่อนข้างขมและฝาด หากใส่ในปริมาณมากจะทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับน้ำถั่วหมักชีวภาพที่มีกลิ่นค่อนข้างแรง จึงใส่ได้ในปริมาณอัตราส่วนที่ค่อนข้างน้อยกว่าส่วนผสมอื่นๆ แต่งกลิ่น สี และรสหวาน ด้วยกลิ่นฟรุ๊ตตี้ สีเหลืองมะนาว และฟรุ๊กโตสไซรัป ร้อยละ 55 ปริมาณ ร้อยละ 0.05 0.1 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 34 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบทั้งหมดที่เหมาะสม

ปัจจัยที่ศึกษา	ปริมาณ
น้ำเคปกูสเบอรี่ (ร้อยละ)	42 - 50
น้ำผักเข็มขุ่น (ร้อยละ)	32 - 40
น้ำชา (ร้อยละ)	7 - 15
น้ำถั่วชีวภาพ (ร้อยละ)	1 - 3

นำเครื่องดื่มสารอาหารสูงที่ได้จากการทดลอง ทั้ง 15 สูตร ไปวัดคุณภาพทางด้านกายภาพ คือ ค่าความสว่าง (L) สีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) คุณภาพทางด้านกายภาพ ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวม โดยให้คะแนนความชอบ 1 เท่ากับ ชอบน้อยที่สุด ถึง 5 เท่ากับชอบมากที่สุด ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 35 – 36

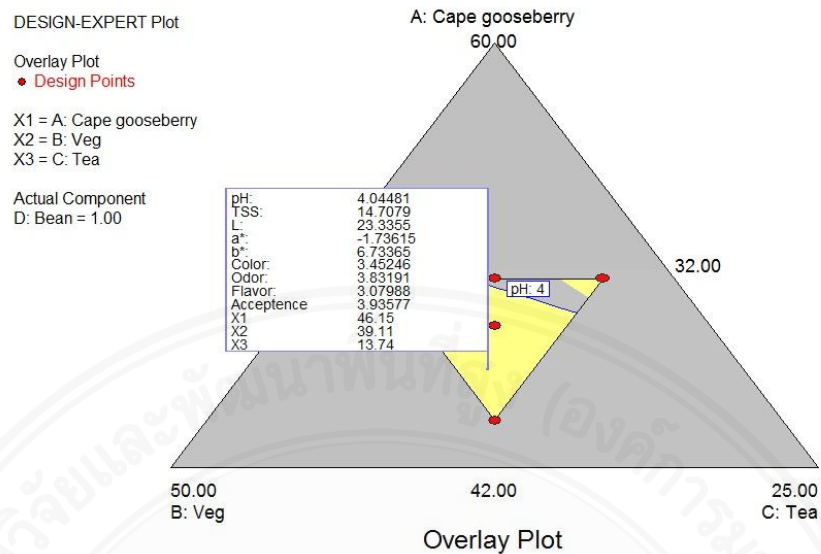
จากการทดสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของเครื่องดื่ม สารอาหารสูงที่ทำการศึกษสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 35 - 36) พบว่าคุณภาพ ทางด้านความสว่าง สีเหลือง (b*) และคะแนนความชอบทางด้านสีของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มสารอาหารสูงทั้ง 15 สูตรที่ทดลองศึกษานั้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Design Expert ver 6.0.2 เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูง ได้ผลดังภาพที่ 20 พบว่าสูตรที่ เหมาะสมที่สุดของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูง คือ น้ำเคปกูสเบอรี่ ร้อยละ 46.15 น้ำผักเข็มขุ่น ร้อยละ 39.11 น้ำชา ร้อยละ 13.74 และน้ำถั่วหมักชีวภาพ ร้อยละ 1.00 มีคุณภาพทางด้านเคมี ค่า ความเป็นกรดต่าง 4.04 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ 14.7 ด้านกายภาพ ค่าความสว่าง (L) เท่ากับ 23.33 สีแดง (a*) -1.74 สีเหลือง (b*) 6.73 คะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวม เท่ากับ 3.45 3.83 3.07 และ 3.93 ตามลำดับ

ตารางที่ 35 คุณภาพทางด้านเคมีของเครื่องดื่มสารอาหารสูง 15 สูตร จากการทดลองแบบ Mixture Design

ที่	น้ำเคปทูลเบอร์รี่ (ร้อยละ)	น้ำผักเข็มขึ้น (ร้อยละ)	น้ำชา (ร้อยละ)	น้ำถั่วเขียวภาพ (ร้อยละ)	pH	TSS (°Brix)	ค่าสี		
							L	a*	b*
1	50.00	34.00	15.00	1.00	3.99 ± 0.02	13.0 ± 0.00	25.75 ± 1.36	-1.39 ± 0.36	8.27 ± 1.40
2	46.00	36.00	15.00	3.00	4.00 ± 0.01	13.5 ± 0.00	26.17 ± 0.15	-1.42 ± 0.09	8.75 ± 0.05
3	42.00	40.00	15.00	3.00	4.00 ± 0.00	11.2 ± 0.00	25.97 ± 0.32	-1.38 ± 0.20	8.52 ± 0.35
4	50.00	40.00	9.00	1.00	4.11 ± 0.00	10.2 ± 0.00	27.20 ± 0.08	-1.38 ± 0.20	9.57 ± 0.04
5	50.00	36.00	11.00	3.00	4.01 ± 0.00	12.5 ± 0.00	25.28 ± 1.97	-2.08 ± 0.09	8.58 ± 0.09
6	44.00	40.00	15.00	1.00	4.00 ± 0.00	10.0 ± 0.00	23.01 ± 0.10	-2.98 ± 0.09	5.33 ± 0.11
7	46.00	40.00	11.00	3.00	4.05 ± 0.02	15.0 ± 0.00	25.24 ± 0.10	-1.13 ± 0.04	7.36 ± 0.08
8	46.50	36.50	15.00	2.00	4.05 ± 0.00	12.0 ± 0.00	23.86 ± 0.15	-1.60 ± 0.02	6.05 ± 0.15
9	50.00	40.00	7.00	3.00	4.01 ± 0.00	14.0 ± 0.00	24.78 ± 0.07	-2.14 ± 0.48	6.77 ± 0.10
10	50.00	32.00	15.00	3.00	4.00 ± 0.00	13.0 ± 0.00	24.97 ± 1.29	-2.74 ± 0.05	6.46 ± 0.39
11	48.00	38.00	13.00	1.00	4.04 ± 0.00	19.0 ± 0.00	24.15 ± 0.20	-1.27 ± 0.08	6.24 ± 0.07
12	48.83	35.83	13.83	1.50	4.16 ± 0.00	10.2 ± 0.00	23.68 ± 0.56	-1.24 ± 0.30	8.62 ± 0.35
13	48.83	38.83	10.83	1.50	3.99 ± 0.00	13.0 ± 0.00	23.68 ± 0.45	-1.12 ± 0.12	5.90 ± 0.35
14	45.83	38.83	13.83	1.50	4.00 ± 0.00	17.0 ± 0.00	23.42 ± 0.49	-1.23 ± 0.04	6.12 ± 0.09
15	50.00	37.00	12.00	1.00	4.04 ± 0.00	11.0 ± 0.00	23.03 ± 0.15	-0.53 ± 0.16	5.41 ± 0.16

ตารางที่ 36 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มสารอาหารสูง 15 สูตร จากการทดลองแบบ Mixture Design

ที่	น้ำเคปทูลเบอร์ (ร้อยละ)	น้ำผักเข็มชัน (ร้อยละ)	น้ำชา (ร้อยละ)	น้ำถั่วเขียวภาพ (ร้อยละ)	ค่าทางประสาทสัมผัส (คะแนนเต็ม 5)			
					สี	กลิ่น	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
1	50.00	34.00	15.00	1.00	4.2 ± 1.1	3.1 ± 0.7	3.1 ± 0.9	3.1 ± 0.1
2	46.00	36.00	15.00	3.00	4.1 ± 1.0	3.3 ± 0.7	2.6 ± 0.6	2.9 ± 0.5
3	42.00	40.00	15.00	3.00	3.8 ± 1.2	4.7 ± 7.8	2.5 ± 0.7	3.6 ± 1.6
4	50.00	40.00	9.00	1.00	2.7 ± 0.6	3.0 ± 0.9	2.1 ± 0.6	2.6 ± 0.6
5	50.00	36.00	11.00	3.00	2.5 ± 1.2	2.7 ± 0.6	1.5 ± 0.5	2.1 ± 0.9
6	44.00	40.00	15.00	1.00	3.6 ± 0.7	2.9 ± 0.7	2.5 ± 0.5	2.7 ± 0.3
7	46.00	40.00	11.00	3.00	2.4 ± 0.5	2.6 ± 0.6	1.7 ± 0.5	2.1 ± 0.7
8	46.50	36.50	15.00	2.00	2.7 ± 0.9	2.7 ± 0.8	2.5 ± 1.0	2.6 ± 0.1
9	50.00	40.00	7.00	3.00	2.3 ± 0.6	2.3 ± 1.0	2.1 ± 0.6	2.2 ± 0.1
10	50.00	32.00	15.00	3.00	2.7 ± 0.6	3.3 ± 0.7	2.0 ± 0.9	2.7 ± 0.9
11	48.00	38.00	13.00	1.00	3.3 ± 1.0	3.3 ± 1.1	3.0 ± 0.9	3.1 ± 0.2
12	48.83	35.83	13.83	1.50	2.5 ± 0.7	2.7 ± 0.9	3.5 ± 1.0	3.1 ± 0.5
13	48.83	38.83	10.83	1.50	3.5 ± 0.7	2.9 ± 0.8	3.7 ± 1.2	3.3 ± 0.6
14	45.83	38.83	13.83	1.50	3.1 ± 0.9	2.9 ± 0.8	3.1 ± 0.9	3.0 ± 0.2
15	50.00	37.00	12.00	1.00	3.1 ± 1.2	3.3 ± 0.9	3.5 ± 1.1	3.4 ± 0.1



ภาพที่ 20 สูตรที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องดื่มสารอาหารสูง

ตอนที่ 5 ศึกษากระบวนการมาเชื้อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่มที่เหมาะสม

จากการศึกษาอัตราส่วนของเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่มในการทดลองตอนที่ 4 สามารถสรุปสูตรที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากนั้นนำมาศึกษากระบวนการมาเชื้อที่เหมาะสม โดยการให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มีปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิและเวลา ซึ่งพิจารณาจาก ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มสารอาหารสูง แล้วทำการวัดคุณภาพ ค่าความเป็น กรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ รา และปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มและอีโคไล คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส สี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวม ได้ผลดังตารางที่ 37 - 38

ตารางที่ 37 คุณภาพทางด้านเคมี และเชื้อจุลินทรีย์ของเครื่องดื่มสารอาหารสูงที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

ที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	pH	TSS (°Brix)	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (cfu/ml)		
					จุลินทรีย์ ทั้งหมด	ยีสต์และรา	โคลิฟอร์ม
1	Control		4.08 ± 0.94	13.0 ± 0.1 ^b	0.362	0.00	0.00
2	70	5	4.08 ± 0.27	14.5 ± 0.2 ^a	0.287	0.00	0.00
3	70	10	4.00 ± 0.23	15.0 ± 0.1 ^a	0.175	0.00	0.00
4	70	15	4.01 ± 0.35	15.2 ± 0.2 ^a	0.121	0.00	0.00
5	75	5	4.08 ± 0.12	15.0 ± 0.1 ^a	0.180	0.00	0.00
6	75	10	4.07 ± 0.11	15.2 ± 0.1 ^a	0.101	0.00	0.00
7	75	15	4.14 ± 0.52	15.2 ± 0.2 ^a	0.081	0.00	0.00
8	80	5	4.10 ± 0.43	15.0 ± 0.2 ^a	0.00	0.00	0.00
9	80	10	4.10 ± 0.67	15.2 ± 0.1 ^a	0.00	0.00	0.00
10	80	15	4.07 ± 0.15	15.5 ± 0.2 ^a	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในกลุ่มนี้ แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 38 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำรสหวานที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

ที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาท)	คะแนนความชอบ			
			สี	กลิ่น	รสชาติ	การยอมรับ โดยรวม
1	Control		3.27±0.96 ^b	3.25 ± 0.99 ^b	3.27 ± 1.08	3.40 ± 0.89
2	70	5	3.70±0.79 ^a	3.40 ± 1.07 ^a	3.33 ± 1.29	3.94 ± 0.47
3	70	10	3.23±1.07 ^b	3.42 ± 1.07 ^a	3.40 ± 1.07	3.40 ± 1.07
4	70	15	3.33±1.45 ^{ab}	3.37 ± 1.80 ^a	3.43 ± 1.59	3.60 ± 1.60
5	75	5	3.45±1.23 ^{ab}	3.40 ± 1.07 ^a	3.40 ± 1.07	3.40 ± 1.07
6	75	10	3.00±1.55 ^b	3.50 ± 1.64 ^a	3.37 ± 1.39	3.57 ± 0.62
7	75	15	3.17±0.99 ^b	3.67 ± 1.08 ^a	3.40 ± 0.89	3.13 ± 0.85
8	80	5	3.25±0.62 ^b	3.43 ± 1.07 ^a	3.23 ± 1.29	3.70 ± 0.33
9	80	10	3.33±1.45 ^b	3.57 ± 1.80 ^a	3.43 ± 1.59	3.10 ± 0.04
10	80	15	3.22±1.93 ^b	3.45 ± 1.07 ^a	3.40 ± 1.07	3.40 ± 1.07

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในกลุ่มหนึ่ง แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลที่ได้พบว่า คุณภาพทางด้านเคมี ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความความร้อนจากการฆ่าเชื้อ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนอาจทำให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์บางส่วนระเหยออกไปทางด้านปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำรสหวานที่ยังไม่ได้ผ่านการฆ่าเชื้อเป็นจำนวนมาก ส่วนหนึ่งอาจมาจากเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่ใช้ในการหมักแก้ว เพราะไม่พบยีสต์รา และเชื้อโคลิฟอร์ม รวมทั้งอีโคไลในผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อพบว่า การฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 70 และ 75 องศาเซลเซียส ทั้ง 3 เวลา คือ 5 10 และ 15 นาที ยังพบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาตั้งแต่ 5 นาที ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ (ตารางที่ 37)

ทางด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า การให้ความร้อนมีผลต่อความชอบด้านสี และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป โดยการใช้อุณหภูมิต่ำ และเวลาในการนำเข้าไม้นาน ทำให้คะแนนความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์มากกว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง และเวลาในการนำเข้าที่นานกว่า แต่ทางด้านกลิ่นรสการให้ความร้อนทำให้เกิดกลิ่นที่ผู้บริโภคพึงพอใจมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน (ตารางที่ 38)

จากการทดลองนี้ จึงเลือกวิธีการนำเข้าเชื้อของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูง ที่อุณหภูมิการนำเข้า 80 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที

ตอนที่ 6 ศึกษาสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงอัดเม็ด

ตอนที่ 6.1 ศึกษาการใช้สารก่อให้เกิดโฟมในการทำวัตถุดิบผง

ศึกษากระบวนการทำวัตถุดิบผงโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบโฟม-เมท วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แปรผันระดับสารที่ช่วยให้เกิดโฟม คือ กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (GMS) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 5 10 และ 15 ของเครื่องดื่มสารอาหารสูง มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารเพิ่มปริมาณเนื้อ ที่ร้อยละ 20 วัดความหนาแน่น ค่า overrun และค่าความคงตัวของโฟม

ตารางที่ 39 คุณภาพของโฟมที่ได้ เมื่อเติม GMS ที่ระดับต่างกัน

ที่	สารที่เติม	ร้อยละ	ลักษณะของ โฟมที่สังเกตได้	ความหนาแน่น ของโฟม (กรัม/มล.)	Overrun ของโฟม (ร้อยละ)	ความคงตัว ของโฟม (มล./นาที)
1	Control	-	ไม่เกิดโฟม	-	-	-
2	GMS	5	โฟมไม่คงตัว	0.425 ^b	69.26 ^b	0.15 ^b
3	GMS	10	โฟมคงตัว	0.235 ^a	78.63 ^a	0.85 ^a
4	GMS	15	โฟมคงตัว	0.190 ^a	65.99 ^b	0.88 ^a

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในกลุ่มนี้ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการผลการทดลอง ดังตารางที่ 39 พบว่า เครื่องดื่มสารอาหารสูงไม่มีคุณสมบัติในการเกิดโฟมได้ด้วยตัวเอง ต้องมีสารช่วยในการเกิดโฟม โดยเมื่อเติม GMS ที่ระดับร้อยละ 5 จะทำให้เริ่มเกิดโฟมแต่ลักษณะโฟมที่ได้ไม่คงตัว ยังมีส่วนของน้ำในปริมาณมาก ไม่สามารถบีบเป็นเส้นบนตาข่ายได้ ส่วนการเติม GMS ที่ร้อยละ 10 และ 15 จะทำให้เครื่องดื่มสารอาหารสูงเกิดโฟมที่

คงตัว โดยโฟมที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นโฟมที่ดี เมื่ออบด้วยความร้อนแล้วไม่เกิดการยุบตัว จึงเลือกใช้ปริมาณ GMS ที่น้อยที่สุดในการก่อให้เกิดโฟม คือปริมาณร้อยละ 10 ในการทำโฟม

ตอนที่ 6.2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์อาหารสูงอัดเม็ด

ทำการศึกษาสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์อาหารสูงอัดเม็ดที่เหมาะสม โดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture Design (ไพโรจน์, 2547) แปรผันวัตถุดิบที่ได้จากการทดลองตอนที่ 6.1 สารเพิ่มปริมาณเนื้อ คือ น้ำตาลแลคโตส และสารช่วยเพิ่มการยึดเกาะ คือ โพลีไวนิลไพโรริวโดน เค30 (PVP K30) ระดับของปัจจัยที่ศึกษา ดังตารางที่ 37 เดิมทลคัม ร้อยละ 2 และแมกนีเซียมสเตียเรท ร้อยละ 1 ของส่วนผสมทั้งหมด โดยทลคัมจะทำหน้าที่เป็นสารด้านการยึดเกาะกับแม่พิมพ์และปากของเครื่องตอกอัดเม็ด ทำให้เม็ดผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสมบูรณ์ของเม็ด ไม่มีรอยที่บริเวณผิวหน้า นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นสารช่วยในการไหลและสารช่วยลื่นร่วมกับแมกนีเซียมสเตียเรท อัดเป็นเม็ดขนาด 600 มิลลิกรัมต่อเม็ด ซึ่งสามารถวางแผนการทดลองจากระดับปัจจัยดังกล่าวได้ 11 การทดลอง ดังตารางที่ 41 จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รส และการยอมรับโดยรวม เพื่อนำไปหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์อาหารสูงอัดเม็ด

ตารางที่ 40 แสดงระดับของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบทั้งหมดที่เหมาะสม

ปัจจัยที่ศึกษา	ปริมาณ
วัตถุดิบผง (ร้อยละ)	55 - 60
แลคโตส (ร้อยละ)	20 - 40
PVP K 30 (ร้อยละ)	3 - 5

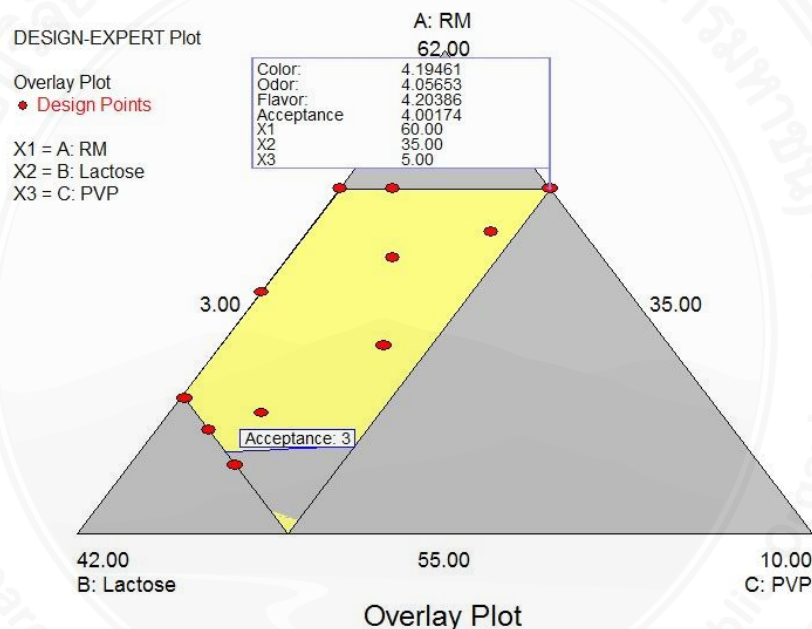
ตารางที่ 41 การวางแผนการทดลองแบบ Mixture Design ของส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำรสอาหารสูงอัดเม็ด

ที่	วัตถุดิบผง	lactose	PVP	Magnesium	Talcum
1	60	37	3	1	2
2	56	40	4	1	2
3	56.5	39	3	1	2
4	58.5	38.5	5	1	2
5	57.5	37.5	3	1	2
6	60	36	5	1	2
7	57	40	4	1	2
8	60	35	5	1	2
9	55	40	3	1	2
10	59	37	4	1	2
11	60	35	3	1	2

ตารางที่ 42 คุณภาพทางประสาทสัมผัสเครื่องดื่มน้ำรสอาหารสูงอัดเม็ด 11 สูตร

ที่	วัตถุดิบผง	lactose	PVP	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
1	60.00	37.00	3.00	3.94	3.69	3.44	3.63
2	56.00	40.00	4.00	3.50	2.94	2.88	3.06
3	56.50	39.00	3.00	3.75	3.19	3.31	3.38
4	58.50	38.50	5.00	3.19	3.00	2.69	2.75
5	57.50	37.50	3.00	3.84	3.21	3.31	3.33
6	60.00	36.00	5.00	3.20	3.09	3.17	3.03
7	57.00	40.00	4.00	3.50	3.19	3.24	3.53
8	60.00	35.00	5.00	3.31	3.06	3.19	3.00
9	55.00	40.00	3.00	3.93	3.53	3.40	3.60
10	59.00	37.00	4.00	3.53	3.60	3.67	3.67
11	60.00	35.00	3.00	3.53	3.60	3.67	3.67

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ (ตารางที่ 41-42) ไปทำการวิเคราะห์ผล ด้วยโปรแกรม Design Expert ver 6.0.2 พบว่าเครื่องดื่มน้ำรสอาหารสูงอัดเม็ดทั้ง 11 สูตรมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสต่างกันทั้งทางด้านสี กลิ่น รส และการยอมรับโดยรวม ทำการ optimization เพื่อหาส่วนผสมที่ดีที่สุดของเครื่องดื่มน้ำรสอาหารสูงอัดเม็ด ได้ผลดังภาพที่ 21 พบว่าส่วนผสมที่ดีที่สุดของเครื่องดื่มน้ำรสอาหารสูงอัดเม็ด ประกอบด้วย วัตถุดิบผง น้ำตาลแลคโตส พอลิไวนิลไพโรลิโดน เก30 ร้อยละ 60.00 35.00 และ 5.00 ตามลำดับ โดยมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้านสี กลิ่น รส และการยอมรับโดยรวม เท่ากับ 4.19 4.06 4.20 และ 4.00 ตามลำดับ



ภาพที่ 21 ส่วนผสมที่ดีที่สุดของเครื่องดื่มน้ำรสอาหารสูงอัดเม็ด

ตอนที่ 7 ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำรสอาหารสูงและผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำรสอาหารสูงอัดเม็ด

นำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำรสอาหารสูงและผลิตภัณฑ์น้ำรสอาหารสูงอัดเม็ดที่ผ่านการพัฒนาสูตรแล้ว มาทำการศึกษาคูณภาพในด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 43 พบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำรสอาหารสูงที่พัฒนาแล้วมีคุณภาพทางด้านสี L (28.45) a^* (-1.68) b^* (9.14) คุณภาพทางด้านเคมี ต่อ 1 หน่วยบริโภค (45 มิลลิลิตร) ได้แก่ แล็ก 1.44 กรัม วิตามินซี 1.20 มิลลิกรัม เบต้า-แคโรทีน 5.98 ไมโครกรัม โฟเลต 1.39 ไมโครกรัม แคลเซียม 4.71

มิลลิลิตร ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 72.90 มิลลิลิตร ไฟโตเอสโตรเจนชนิดไอโซฟลาโวน แบบกลูโคไซด์ 443.34 ไมโครกรัม และแบบอะไกลโคน 128.98 ไมโครกรัม ค่าความเป็นกรดต่าง 4.00 และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 15 องศาบริกซ์ คุณภาพทางเชื้อจุลินทรีย์ ไม่พบ เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์รา และเชื้อโคลิฟอร์มและอีโคไล นอกจากนี้คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับโดยรวม พบว่าผู้บริโภคมีความชอบต่อเครื่องดื่ม สารอาหารสูงในคะแนน 4.00 – 4.45 เมื่อให้คะแนนเต็มเท่ากับ 5 คะแนน

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงอัดเม็ดที่พัฒนาแล้วมีคุณภาพทางด้านสี L (69.09) a* (-1.01) b* (14.21) คุณภาพทางด้านเคมี ต่อ 1 หน่วยบริโภค (600 มิลลิลิตร) ได้แก่ เถ้า 0.15 กรัม วิตามินซี 0.95 มิลลิลิตร เบต้า-แคโรทีน 1.25 ไมโครกรัม โฟเลต 0.12 ไมโครกรัม แคลเซียม 2.30 มิลลิลิตร ไฟโตเอสโตรเจนชนิดไอโซฟลาโวน แบบกลูโคไซด์ 443.34 ไมโครกรัม และแบบอะไกลโคน 12.90 ไมโครกรัม ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.00 คุณภาพทางเชื้อจุลินทรีย์ พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.5×10^2 โคโลนี ต่อกรัม แต่ไม่พบยีสต์รา และเชื้อโคลิฟอร์มและอีโคไล ในเครื่องดื่มสารอาหารสูงอัดเม็ด ส่วนคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับโดยรวม ผู้บริโภคมีความชอบต่อสารอาหารสูง เท่ากับ 4.40 – 4.82 เมื่อให้คะแนนเต็มเท่ากับ 5 คะแนน

ตารางที่ 43 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่มและผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม สารอาหารสูงอัดเม็ด

คุณภาพผลิตภัณฑ์	Thai RDI	เครื่องดื่ม สารอาหารสูง พร้อมดื่ม	เครื่องดื่ม สารอาหารสูง อัดเม็ด
คุณภาพทางกายภาพ			
ค่าสี L (ค่าความสว่าง)	-	28.45 ± 0.60	69.14 ± 1.86
a* (ค่าสีแดง-เขียว)	-	-1.68 ± 0.02	-1.01 ± 0.18
b* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน)	-	14.21 ± 0.40	14.21 ± 0.44
คุณภาพทางเคมี			
ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์	-	-	0.283
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	-	4.00	6.00
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°brix)	-	15	-
ร้อยละของเถ้า (g / 1 หน่วยบริโภค)	-	1.44	0.15
ปริมาณวิตามินซี (mg / 1 หน่วยบริโภค)	60	1.20	0.95

ตารางที่ 43 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่มและผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม
สารอาหารสูงอัดเม็ด (ต่อ)

คุณภาพผลิตภัณฑ์	Thai RDI	เครื่องดื่ม สารอาหารสูง พร้อมดื่ม	เครื่องดื่ม สารอาหารสูง อัดเม็ด
คุณภาพทางเคมี			
ปริมาณเบต้า-แคโรทีน (μg / 1 หน่วยบริโภค)	-	5.98	1.25
ปริมาณโฟเลต (μg / 1 หน่วยบริโภค)	200	1.39	0.12
ปริมาณแคลเซียม (mg / 1 หน่วยบริโภค)	800	4.71	2.30
ปริมาณไฟโตเอสโตรเจน ชนิดกลูโคไซด์ (μg / 1 หน่วยบริโภค)	-	443.34	44.33
ชนิดอะไกลโคน (μg / 1 หน่วยบริโภค)	-	128.98	12.90
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (mg / 1 หน่วยบริโภค)	-	72.90	-
คุณภาพทางเชื้อจุลินทรีย์			
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	-	0.00	1.5×10^2
ปริมาณยีสต์และรา (cfu/g)	-	0.00	0.00
ปริมาณ Coliforms และ <i>E.coli</i> (MPN/g)	-	0.00	0.00

หมายเหตุ : คุณภาพทางประสาทสัมผัส คะแนนความชอบ 1-5 เมื่อ 1 ชอบน้อยที่สุด และ 5 ชอบมากที่สุด

1 หน่วยบริโภคของเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม เท่ากับ 45 มิลลิลิตร

1 หน่วยบริโภคของเครื่องดื่มสารอาหารสูงอัดเม็ด เท่ากับ 600 มิลลิกรัม

บทที่ 5

สรุปผล

ตอนที่ 1 ศึกษากระบวนการผลิตวัตถุดิบในกลุ่มผัก

ตอนที่ 1.1 ศึกษาแหล่งของวิตามินซี เบต้า-แคโรทีน โฟเลต และแคลเซียม จากพืชในกลุ่มผักของมูลนิธิโครงการหลวง

จากการศึกษาอัตราส่วนผสมของผักทั้ง 9 ชนิด พบว่า ส่วนผสมของผักที่เหมาะสม คือใช้ ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม ผักกาดหางหงส์ ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโคลี่ ถั่วแขก และถั่วลันเตา ปริมาณร้อยละ 6.20 30.67 11.93 3.64 2.29 14.62 1.94 28.10 และ 0.61 ตามลำดับ .

ตอนที่ 1.2 ศึกษาวิธีการสกัดน้ำผักเข้มข้น

สกัดน้ำผัก จากสัดส่วนของผักที่ได้จากตอนที่ 1.1 ในสถานะเย็น เวลาที่ใช้ในการสกัด 5 นาทีต่อลิตร อัตราส่วนผักต่อน้ำที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 2 : 1

ตอนที่ 2 ศึกษากระบวนการผลิตวัตถุดิบในกลุ่มชา

ตอนที่ 2.1 ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในชาแต่ละชนิด

เลือกใช้ชาเขียวเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากมีค่า IC_{50} ปริมาณน้อยที่สุด

ตอนที่ 2.2 ศึกษาวิธีการสกัดน้ำชา

ทำการสกัดชาเขียวด้วยการต้มในน้ำ โดยใช้อัตราส่วนใบชาต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที

ตอนที่ 3 ศึกษาชนิดของถั่วต่อปริมาณสารไฟโตเอสโตรเจน โดยใช้เทคนิคการหมักด้วยเชื้อบริสุทธิ์

เลือกใช้ถั่วเหลืองผิวดำนำมาหมักด้วยเชื้อบริสุทธิ์ เพื่อให้ได้สารไฟโตเอสโตรเจน ชนิด ไอโซฟลาโวนปริมาณมาก และเป็นถั่วที่มูลนิธิโครงการหลวงส่งเสริมการเพาะปลูก

ตอนที่ 4 ศึกษาอัตราส่วนของเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม โดยใช้น้ำเคปทูลเบอร์รี่ น้ำผักเข้มข้น น้ำชา และน้ำถั่วหมัก ร้อยละ

สูตรที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตเครื่องดื่มสารอาหารสูง คือ น้ำเคปทูลเบอร์รี่ น้ำผักเข้มข้น น้ำชา และน้ำถั่วหมัก ร้อยละ 46.15 39.11 13.74 และ 1.00 ตามลำดับ แต่งสี กลิ่นและรส

ด้วย สีเหลืองมะนาว กลิ่นฟรุตตี้ และฟรุกโตสไซรัป ร้อยละ 0.05 0.1 และ 5 ตามลำดับของ ส่วนผสมทั้งหมด

ตอนที่ 5 ศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่มที่เหมาะสม

กระบวนการฆ่าเชื้อของเครื่องดื่มสารอาหารสูง ฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที

ตอนที่ 6 ศึกษาสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงอัดเม็ด

ตอนที่ 6.1 ศึกษากระบวนการทำวัตถุดิบผง

เครื่องดื่มสารอาหารสูงอัดเม็ด ใช้สูตรที่เหมาะสมเดียวกับเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม ทำแห้งด้วยเทคโนโลยีโฟมเมทโดยใช้ กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท เป็นสารช่วยให้เกิดโฟม และใช้ มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารช่วยเพิ่มปริมาณ ร้อยละ 10 และ 20 ของเครื่องดื่มสารอาหารสูง โดยใช้ ความเร็วในการตีระดับสูงสุด เวลา 10 นาที อบแห้งนาน 3 ชั่วโมง จะได้วัตถุดิบผงสำหรับใช้ในการอัดเม็ด

ตอนที่ 6.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดเม็ด

ผสมวัตถุดิบผง กับน้ำตาลแลคโตส พอลิไวนิลไพโรลิโดน เค30 แมกนีเซียม สเตียเรท และทัลคัม ร้อยละ 58.32 34.02 4.86 0.97 และ 1.94 ตามลำดับ

ตอนที่ 7 ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงและผลิตภัณฑ์สารอาหารสูงอัดเม็ด

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงมีคุณภาพทางด้านสี $L = 28.45$ $a^* = 1.68$ $b^* = 9.14$ คุณภาพทางด้านเคมี ต่อ 1 หน่วยบริโภค ได้แก่ เถ้า 1.44 กรัม วิตามินซี 1.20 มิลลิกรัม เบต้า-แคโรทีน 5.98 ไมโครกรัม โฟเลต 1.39 ไมโครกรัม แคลเซียม 4.71 มิลลิกรัม ค่าความเป็นกรด ด่าง 4.00 และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 15 องศาบริกซ์ คุณภาพทางเชื้อจุลินทรีย์ ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์รา และเชื้อโคลิฟอร์มและอีโคไล ในเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม ส่วนคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับโดยรวม ผู้บริโภคมีความชอบต่อเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่มในระดับคะแนน 4.00 – 4.45 เมื่อคะแนนเต็ม เท่ากับ 5 คะแนน

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงอัดเม็ดมีคุณภาพทางด้านสี $L = 67.09$ $a^* = -1.01$ $b^* = 14.21$ คุณภาพทางด้านเคมี ต่อ 1 หน่วยบริโภค ได้แก่ วิตามินซี 0.95 มิลลิกรัม ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ 0.283 พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.5×10^2 โคโลนี/กรัม ไม่พบยีสต์รา และเชื้อโคลิฟอร์มและอีโคไล ในเครื่องดื่มสารอาหารสูงอัดเม็ด ส่วนคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส รสชาติ และ

การยอมรับโดยรวม ผู้บริโภคมีความชอบต่อเครื่องดื่มสารอาหารสูงอัดเม็ดในระดับคะแนน 4.40 – 4.82 เมื่อคะแนนเต็ม เท่ากับ 5 คะแนน

ปัญหาและหรืออุปสรรค

ในการวิเคราะห์สารอาหารบางชนิด เช่น แคลเซียม ทางห้องปฏิบัติการของโรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวงมีความจำเป็นต้องร่วมมือกับห้องปฏิบัติการของสถาบันวิทยาศาสตร์สุขภาพซึ่งมีภารกิจของตัวอย่างที่ต้องทำการวิเคราะห์จำนวนมากบนข้อจำกัดของเครื่องมือ จึงต้องใช้ระยะเวลาที่นานขึ้นในการตรวจวิเคราะห์



บทที่ 6

การศึกษาต้นทุนและแนวทางในการผลิตเชิงการค้า

การศึกษาต้นทุนและแนวทางในการผลิตเชิงการค้า

เป็นการวิเคราะห์ด้านเทคนิค โดยจะพิจารณาคูณลักษณะของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบถึงทางเลือกอุปกรณ์ ต้นทุนของเครื่องมือเครื่องใช้ การศึกษาความสามารถในการจัดหาวัตถุดิบ ปริมาณความต้องการ การกำหนดปริมาณและต้นทุนของส่วนสูญเสีย และคาดคะเนต้นทุนผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม

ข้อมูลวัตถุดิบ

- กลุ่มวัตถุดิบผักของมูลนิธิโครงการหลวง ได้แก่ ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม กะหล่ำปลี ผักกาดหางหงส์ ผักกาดหวาน ปวยเล้ง บล๊อคโกลี ถั่วแขกและถั่วลันเตา
- ชาเขียว มูลนิธิโครงการหลวง
- ถั่วเหลืองผิวดำ มูลนิธิโครงการหลวง
- น้ำเคปทูลเบอร์รี่ โรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง
- ฟรุ๊กโตสไซรัป บริษัทเจ้าคุณเกษรพืชผล จำกัด
- กลิ่นผลไม้ บริษัท Thai Flavour and Fragrance จำกัด
- สีส้มอาหาร ตราวินเนอร์
- เชื้อจุลินทรีย์บริสุทธ์ *Bacillus subtilis*
- เอทานอล 95% บริษัท ยูเนี่ยนชาชน จำกัด

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม

การสกัดน้ำผักสกัดเข้มข้น

นำผักทั้ง 9 ชนิด ได้แก่ ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม ผักกาดหางหงส์ ผักกาดหวาน ปวยเล้ง กะหล่ำปลี บล๊อคโกลี ถั่วแขกและถั่วลันเตา มาล้างทำความสะอาด สะเด็ดน้ำ หั่นชิ้นให้มีขนาดเล็กกลง ซึ่งแบ่งตามสัดส่วน แล้วนำไปปั่นละเอียดโดยมีอัตราส่วนผักต่อน้ำ เท่ากับ 2 : 1 ใช้เวลาปั่นนาน 5 นาทีต่อลิตร จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง จะได้สารสกัดน้ำผัก นำไปประเหยด้วย

เครื่องระเหยระบบสุญญากาศ จนปริมาตรลดลงไปร้อยละ 50 จะได้น้ำผักสกัดเข้มข้น เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม

การสกัดน้ำชาเข้มข้น

นำชาเขียวมาปั่นให้ละเอียด แล้วนำมาผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วนผงชาต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 ต้มสกัดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง ได้น้ำชาสกัดเข้มข้น วัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม

การสกัดน้ำถั่วเขียวภาพเข้มข้นหมักเข้มข้น

นำถั่วเหลืองฟิวดา มาล้างทำความสะอาดแช่ทิ้งไว้ค้างคืน แล้วนำมาต้มนาน 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการหมักด้วยเชื้อบริสุทธิ (*Bacillus subtilis*) ในสภาวะการหมักแบบแห้ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำไปนึ่งแล้วจึงไปสกัดด้วยเอทานอล 2 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรองนำสารละลายที่ได้ไปทำการระเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศจนเอทานอลระเหยออกหมด จึงได้เป็นน้ำถั่วหมักเขียวภาพเข้มข้นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม

การผลิตเครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม

ชั่ง ตวงส่วนผสมต่างๆ ตามสูตร ผสมให้เข้ากัน นำไปต้มฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จากนั้นบรรจุร้อน ปิดฝาให้สนิท นำไปทำให้เย็น จะได้เครื่องดื่มสารอาหารสูงพร้อมดื่ม

วัสดุและอุปกรณ์

- เครื่องปั่น
- เครื่องระเหยสุญญากาศ
- โถหมักเชื้อ
- Water Bath
- เตาแก๊สและอุปกรณ์เครื่องครัว
- ขวดแก้วพร้อมฝา

ตารางที่ 44 ขั้นตอนการผลิตน้ำผักสกัดเข้มข้น น้ำหนักที่สูญเสีย และต้นทุนผลิตภัณฑ์

ขั้นตอน	น้ำหนัก (กรัม)	ต้นทุน (บาท)
ผักสด 9 ชนิด	2,000	34.13
↓		
ล้างทำความสะอาด		
↓		
หั่นให้มีขนาดชิ้นเล็กลง		
↓		
สกัด	+ น้ำ 1000 กรัม	+ 1.00
↓		
กรองเอากากออก	2,333	45.17
↓		
ระเหยระบบสุญญากาศ		
↓		
น้ำผักสกัดเข้มข้น	1,166	<u>90.34</u>
	ต้นทุนพลังงาน	<u>20.65</u>
	ต้นทุนค่าแรง	<u>225</u>
	ต้นทุนต่อกิโลกรัม	<u>336</u>

จากตารางที่ 44 แสดงให้เห็นว่าน้ำผักสกัดเข้มข้นมีต้นทุนเท่ากับ 336 บาท/กิโลกรัม โดยมีผลผลิต (% yield) ร้อยละ 58.3 น้ำหนักส่วนใหญ่ที่สูญเสียจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการกรองแยกกากออกประมาณร้อยละ 30 และสูญเสียน้ำหนักในการระเหยนํ้าออกเพื่อทำให้นํ้าผักเข้มข้นอีกร้อยละ 50

ตารางที่ 45 ขั้นตอนการผลิตน้ำชาสกัดเข้มข้น น้ำหนักที่สูญเสีย และต้นทุนผลิตภัณฑ์

ขั้นตอน	น้ำหนัก (กรัม)	ต้นทุน (บาท)
ชาเขียว	150	138.75
↓		
ปั่นละเอียด		
↓		
ต้มสกัด	+ น้ำ 1,500 กรัม	+ 1.50
↓		
กรองเอากากออก		
↓		
น้ำชาสกัดเข้มข้น	1,200	<u>193</u>
	ต้นทุนพลังงาน	<u>8.97</u>
	ต้นทุนค่าแรง	<u>112.5</u>
	ต้นทุนต่อกิโลกรัม	<u>314.47</u>

จากตารางที่ 45 แสดงให้เห็นว่าน้ำชาสกัดเข้มข้นมีต้นทุนเท่ากับ 314.47 บาท/กิโลกรัม โดยมีผลผลิต (% yield) ร้อยละ 72.7 น้ำหนักที่สูญเสียเกิดขึ้นในขั้นตอนการกรองแยกกากออก ประมาณร้อยละ 27.3

ตารางที่ 46 ขั้นตอนการผลิตน้ำอ้วมกั๊กชีวภาพเข้มข้น น้ำหนักที่สูญเสีย และต้นทุนผลิตภัณฑ์

ขั้นตอน	น้ำหนัก (กรัม)	ต้นทุน (บาท)
ถั่วเหลืองผิวดำ	1,000	20
↓ แช่น้ำ	↓ +3,000 (น้ำ)	+3.00
↓ ต้ม	↓ 3,000	7.67
↓ หมักด้วยเชื้อบริสุทธิ์	↓	↓
↓ สกัดด้วยเอทานอล	+ EtOH 95% 15 ลิตร	+1,083
↓ กรอง		
↓ ระเหยด้วยระบบสุญญากาศ		
↓ น้ำอ้วมกั๊กชีวภาพเข้มข้น	↓ 1,650	1,095
	ต้นทุนพลังงาน	74.36
	ต้นทุนค่าแรง	112.5
	ต้นทุนต่อกิโลกรัม	1,281.86

จากตารางที่ 46 แสดงให้เห็นว่าน้ำอ้วมกั๊กชีวภาพเข้มข้นมีต้นทุนเท่ากับ 1,281.86 บาท/กิโลกรัม โดยมีผลผลิต (% yield) ร้อยละ 165 เนื่องจากวัตถุดิบเริ่มต้นถั่วเหลืองผิวดำค่อนข้างแห้งเมื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตที่มีการแช่น้ำและต้มให้ถั่วสุกทำให้ถั่วดูดซึมน้ำเข้าไปจำนวนมาก ในขั้นตอนนี้มีผลผลิต (% yield) สูงถึงร้อยละ 300 แต่เมื่อเข้าสู่กระบวนการหมักจนถึงการระเหยนั่นมีน้ำหนักที่สูญเสียเกิดขึ้น ร้อยละ 45

ตารางที่ 47 ขั้นตอนการผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้สด น้ำหนักที่สูญเสีย และต้นทุนผลิตภัณฑ์

ขั้นตอน	น้ำหนัก (กรัม)	ต้นทุน (บาท)
สูตรเครื่องดื่มน้ำผลไม้สด	2,500	521.03
1. น้ำผักเข้มข้น (336 บาท/กก.)	931	312.82
2. น้ำชาเข้มข้น (315 บาท/กก.)	327	103.00
3. น้ำอ้อยเข้มข้น (1,282 บาท/กก.)	23.75	30.45
4. น้ำเคปทูลเบอร์รี่ (64.52 บาท/กก.)	1,098	70.84
5. ฟรุทโทสไซรัป (31.33 บาท/กก.)	119	3.73
6. สีผสมอาหาร (1,250 บาท/กก.)	0.05	0.06
7. กลิ่น (1,321 บาท/กก.)	0.1	0.13
ผสม ↓ ต้มฆ่าเชื้อ ↓ บรรจุร้อน ↓ เครื่องดื่มน้ำผลไม้สด		
	2,300	567.18
	ต้นทุนพลังงาน	<u>20.00</u>
	ต้นทุนค่าแรง	<u>112.50</u>
	รวมต้นทุนทางตรง	700
	Overhead 30%	210
	<u>ต้นทุนต่อกิโลกรัม</u>	<u>910</u>
	<u>ต้นทุนต่อขวด</u>	<u>41.36</u>

จากตารางที่ 47 แสดงให้เห็นว่าเครื่องดื่มน้ำผลไม้สดมีต้นทุนเท่ากับ 910 บาท/กิโลกรัม หรือ 41.36 บาทต่อขวด (45 มิลลิลิตร) โดยมีผลผลิต (% yield) ร้อยละ 92 น้ำหนักสูญเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการต้มฆ่าเชื้อเนื่องจากการให้ความร้อนทำให้น้ำระเหยออกไป มีน้ำหนักที่สูญเสียไป ร้อยละ 8

ผลิตภัณฑ์เครื่องดัดสารอาหารสูงอัดเม็ด

ข้อมูลวัตถุดิบ

- ผงสารอาหารสูง ที่ได้จากการนำเครื่องดัดสารอาหารสูงก่อนการฆ่าเชื้อมาทำให้เป็นผง
- มอลโตเดกซ์ตริน บริษัท ยูเนียนชาชน จำกัด
- Glyceryl monostearate (GMS) บริษัท ยูเนียนชาชน จำกัด
- แล็กโทส บริษัท ยูเนียนชาชน จำกัด
- PVP K30 บริษัท ยูเนียนชาชน จำกัด
- ทัลคัม บริษัท ยูเนียนชาชน จำกัด
- Magnesium Stearate บริษัท ยูเนียนชาชน จำกัด

เครื่องจักรและอุปกรณ์

- เครื่องปั่นละเอียด
- เครื่องปั่นเอนกประสงค์ Kitchen Aid
- เครื่องอบแห้งสุญญากาศ
- เครื่องอัดเม็ด

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดัดสารอาหารสูงอัดเม็ด

- การผลิตผงสารอาหารสูง

นำสูตรเครื่องดัดสารอาหารสูงที่พัฒนาได้ มาทำให้เป็นผง โดยชั่งส่วนผสมตามสูตร นำเครื่องดัดสารอาหารสูงมาให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส เติม GMS แล้วนำไปตีให้เกิดโฟม จากนั้นนำไปอบด้วยเครื่องอบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หลังจากอบแห้งเสร็จแล้วนำมาบดให้ละเอียด ได้ผงสารอาหารสูงเพื่อนำไปอัดเม็ด

- การอัดเม็ดเครื่องดัดสารอาหารสูง

นำผงสารอาหารสูงที่ได้มาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น โดยนำมาชั่งตามสูตรส่วนผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปเข้าเครื่องอัดเม็ดกลม น้ำหนัก 0.6 กรัมต่อเม็ด ได้เครื่องดัดสารอาหารสูงอัดเม็ด

ตารางที่ 48 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้รสหวาน น้ำหนักที่สูญเสีย และต้นทุนผลิตภัณฑ์

ขั้นตอน	น้ำหนัก (กรัม)	ต้นทุน (บาท)
	รวมต้นทุนทางตรง	3,293.51
	Overhead 30%	988
	ต้นทุนต่อกิโลกรัม	4,281.51
	ต้นทุนต่อเม็ด	2.57

จากตารางที่ 48 แสดงให้เห็นว่าผงเครื่องดื่มน้ำผลไม้รสหวานมีต้นทุนเท่ากับ 2,369 บาท/กิโลกรัม โดยมีผลผลิต (% yield) ร้อยละ 7.5 น้ำหนักส่วนใหญ่ที่สูญเสียจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งเป็นการลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ส่งผลให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์สูญเสียไป ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก และเมื่อนำมาอัดเม็ดพบว่าเครื่องดื่มน้ำผลไม้รสหวานมีต้นทุนเท่ากับ 4,281.51 บาท/กิโลกรัม หรือ 2.57 บาทต่อเม็ด โดยมีผลผลิต (% yield) ร้อยละ 80

แนวทางในการผลิตเชิงการค้า

แนวทางการผลิตในเชิงการค้าทำการเปรียบเทียบกับการผลิตของโรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง โดยพิจารณาถึง

1. ความสามารถในการจัดหาวัตถุดิบ สามารถจัดหาได้เพียงพอต่อความสามารถในการผลิตระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากวัตถุดิบทางการเกษตรที่ใช้เป็นผลผลิตของทางมูลนิธิโครงการหลวง ยกเว้นถั่วเหลืองฝัดดำที่ยังมีผลผลิตน้อย แต่ก็เพียงพอต่อการผลิตเนื่องจากใช้ถั่วเหลืองฝัดดำในปริมาณที่ไม่มากนัก

2. ความสามารถในการผลิตระดับอุตสาหกรรม สำหรับเครื่องดื่มน้ำผลไม้รสหวานพร้อมดื่ม และเครื่องดื่มน้ำผลไม้รสหวานอัดเม็ด พบว่า ความสามารถในการผลิตของโรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ยังมีข้อจำกัดของเครื่องมือบางชนิดที่ใช้ในกระบวนการผลิต คือ เครื่องระเหยสุญญากาศ เครื่องมือที่ใช้ในการตอกและอัดเม็ด

3. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำผลไม้รสหวานพร้อมดื่ม และเครื่องดื่มน้ำผลไม้รสหวานอัดเม็ดยังมีคุณค่าทางโภชนาการน้อยเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด เนื่องจากงานวิจัยไม่ได้เติมแหล่งวิตามินซี แคลเซียม เบต้าแคโรทีน และโฟเลต ดังนั้นสารอาหารที่ได้จึงมาจากวัตถุดิบที่ใช้เท่านั้น หากต้องการสารอาหารเพิ่มมากขึ้นเพื่อสามารถแข่งขันกับท้องตลาดได้ ควรศึกษาการเติมสารอาหารเพิ่มเติม

สรุป

1. ต้นทุนการผลิตน้ำผักสกัดเข้มข้นในระดับห้องปฏิบัติการเท่ากับ 336 บาท/กิโลกรัม โดยมีผลผลิต ร้อยละ 58.3
2. ต้นทุนการผลิตน้ำชาสกัดเข้มข้นในระดับห้องปฏิบัติการเท่ากับ 315 บาท/กิโลกรัม โดยมีผลผลิต ร้อยละ 72.7
3. ต้นทุนการผลิตน้ำหมักชีวภาพเข้มข้นในระดับห้องปฏิบัติการเท่ากับ 1,282 บาท/กิโลกรัม โดยมีผลผลิต ร้อยละ 165
4. ต้นทุนการผลิตเครื่องดื่มสารอาหารสูงในระดับห้องปฏิบัติการเท่ากับ 910 บาท/กิโลกรัม หรือ 41.36 บาทต่อขวด (45 มิลลิลิตร) โดยมีผลผลิต ร้อยละ 92
5. ต้นทุนการผลิตเครื่องดื่มสารอาหารสูงอัดเม็ดในระดับห้องปฏิบัติการเท่ากับ 4281.51 บาท/กิโลกรัม หรือ 2.57 บาทต่อเม็ด (0.6 กรัม) โดยมีผลผลิต ร้อยละ 80