

栄養バランスのとれた宇宙食の重要性と貯蔵方法に関する研究

片山直美 (名女大)、吉村 剛、馬場啓一 (京大)、橋本博文、山下雅道 (JAXA)、宇宙農業サロン

The study of importance of the balance space food and the storage method

Naomi Katayama Nagoya Women's University, 3-40, Shioji-cyo, Mizuho-ku, Nagoya, Aichi, 467-8610 Japan.

Tuyoshi Yoshimura, Keiichi Baba Res. Inst. Sustainable Humanosphere, Kyoto Univesity, Uji, Kyoto, 611-0011, Japan

Hirofumi Hashimoto, Masamichi Yamashita ISAS/JAXA Yoshinodai, Sagamihara city Kanagawa, 229-8510, Japan

Abstract: Regenerative life support system is a key issue to make a long term manned space mission. In particular, food is the most important subject to study on. In order to support crew activity productive, supply of delicious balanced space food is a must item. However, it is thought that the surplus crops are done, occasionally. Therefore, technology to store up the surplus crops is necessary. To prepare for a food shortage, we were aimed at regarding ratios of cotton vs. silk thread as carbohydrates vs. protein.

Key Words; *Space Agriculture, Space Food, Silkworm, Cotton*

背景

宇宙ステーション時代に入り、今後は月基地建设を目指して宇宙船で長期滞在における様々な生理学的研究が行われようとしている。その際、ライフサポートシステムは大変重要となる。特に「食事」は単に空腹を満たすためだけでなく、「肉体的にも、精神的にも健康な状態を維持する」ことに役立ち、さらに「おいしさ」を求めることで、単調になりがちな宇宙船での生活に「ほっとする安らぎ」を与えることが出来、精神衛生上大変重要な役割を果たすと考えられる。また宇宙飛行士同士のコミュニケーションツールにもなるため、全世界の宇宙飛行士が楽しめるユニバーサルスペースフードを目指す必要がある。さらに今後は宇宙空間に長期滞在するため食料が何らかの原因で枯渇した場合の非常食として、最小限のスペースでの食料貯蔵が求められる。

目的

そこで本研究は長期間食べ続けることで、宇宙飛行士の健康の維持増進が期待できるバランスの取れた宇宙食の提案と、さらに余剰食糧の長期保存と食糧が不足などの危機に備える循環型食料生産を基本とした食糧貯蔵の提案を行うことを目的とした。

方法

これまで我々が報告してきた基本食(玄米、大豆、さつまいも、青菜)とタンパク質、ビタミン、ミネラル補給のためのドジョウ、カイコ蛹に加え、麦(水溶性食物繊維が豊富)、キャッサバ(炭水化物が豊富)、シロアリ(良質な脂質)、カタツムリ(タンパク質)、タニシ(タンパク質とミネラル)を加えた献立を立てた。そのうち3種類の献立を実際に真空調理器とIHクッキングヒーターを用いて調理し、官能試験を行った。

被験者は健康成人10名(男性4名、女性6名、平均年齢 30.4 ± 14.6 歳)を用いた。

質問は「味」「彩」「香」「量」「見た目」「盛り付け」「温度」「総合」について10点満点で点数を記入させた。さらに食後の感想を記入させた。

これらの食事を食べた際に、各被験者において、食前、食後、その後15分間隔で2時間の間血糖値を測定した。

カイコ蛹は一端 -20 度以下で冷凍した後、頭を取って殻をむき、中身のみを使用した。

エスカルゴはフランスから輸入された食用の水煮缶詰を利用した。

ドジョウは日本産Sサイズの骨の柔らかいものを利用した。

キャッサバは市販のキャッサバ粉とタピオカを利用した。

循環型食糧生産を考えるために、カイコ蛹をタンパク質と脂質として考え食料としてすぐに利用し、カイコの作る絹糸は衣服として使用し、その後衣類として使用し終わった絹糸をたんぱく質の粉として再び食料にする可能性を調査した。同様に衣類として用いる木綿糸を使用し終わった後に炭水化物として利用可能であるかを調査した。

さらにタンパク質：脂質：炭水化物比を考えて、たんぱく質と脂質としての絹糸：炭水化物としての木綿糸の比率を考えた。

結果

献立はアミノ酸スコアにおいて全てのアミノ酸が100を超え、タンパク質：脂質：炭水化物比（P：F：C比）のバランスが取れていて、血糖値の上がりにくい低GL食となっていた。

絹糸と木綿糸の比率は40：60であると最終的に食料に替えた場合に栄養バランスの取れた食事に変換する事が可能である事が分かった。

考察

基本食（玄米、大豆、さつまいも、青菜）に麦、昆虫、ドジョウを加えることで水溶性食物繊維やビタミンB12、ビタミンDが充足した、バランスの良い献立が作製された。また真空調理とIHクッキングを行うことで、宇宙船内でも行える調理環境を考える事が出来た。又真空調理によって、冷蔵での20日間の保存が可能となった。この事は余剰食糧の有効利用に役立つ。

長期間の食生活は体重の増減を起こす事が考えられ、健康の維持増進を考えると血糖値が上がりやすく、体脂肪が付きにくい食事で体重が維持される事が望ましいため、今回の研究で血糖値を測定した。結果として、今回作成した献立は、血糖値は上がりやすく、宇宙食として適していると考えられる。

バランスの取れた食事を作製するために、アミノ酸スコアが100を越えている事が重要であるが今

回の献立は全てその基準を満たしている。さらにP:F:C比が理想とされる総エネルギー比に対してP=15~20%：F=20~30%：C=50~70%の範囲におさまっていた。これらのことから、今回作製した献立は長期間食事として摂取することによって、健康の維持増進が計れると考える。

衣類や医薬品、寝具や家具のカバーとして利用できる絹糸製品や木綿製品を宇宙船内で利用し、利用し終わった段階で再び食料として再生する事が出来るならば、訪れるかもしれない食料危機（船内環境の悪化による船内農場の不作など）に備える事が可能となる。食糧を貯蔵するためのスペースには限度があるため、普段は衣類やその他の雑貨として利用して、時と場合によって食料に替える事が出来るならば、生命の維持が容易になる。たんぱく質と脂質としての絹糸と、炭水化物としての木綿糸があれば、緊急時であっても、バランスの取れた食事を用意する事が出来る。さらに場合によっては木製品のすべては炭水化物に変える事が出来るため、宇宙船内は木造である事が望ましいとも考えている。今後の宇宙船の設計時にぜひ取り入れるべきである。

今後はさらに循環型社会であるミニ地球を宇宙で構築するために、宇宙での栽培可能な食材料を用いた真空調理とIHクッキングを組み合わせたバランスの良い宇宙食の作成を行いたい。

引用文献

- 1) Jenkins DJA, et.al. (1981) Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin. Nutr.* 24, 362-36
- 2) Lake J, Sotheeswaran S, Aalbersberg W, Sreekumar KP. The glycemic index (GI) of five commonly consumed foods of the South Pacific. *Pac Health Dialog.* 11(1):47-54. (2004).
- 3) Ciok J, Dolna A. Carbohydrates and mental performance—the role of glycemic index of food products. *Plo Merkur Lekarski.* 20(117): 367-70. (2006).
- 4) Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan 2005 Dietary Reference Intake for Japanese

Dai-Ichi Shuppan, Tokyo (2005).

5) Katayama, N., Yamashita, M., Wada, H., Mituhashi, J., Space Agriculture Task Force. Entomophagy as Part of a Space Diet for Habitation On Mars. *JSTS* 21(2), 27-38 (2005).

6) T. Yoshimura et al. Trace elements in termites by PIXE analysis, *Nuclear instruments and Methods in Physics Research B* 189 : 450 – 453(2002).

7) S. Itakura et al. Nutritional value of Two Substranean Termite Species, *Coptotermes formosanus* Shiraki and *Reticulitermes speratus* (Kolbe)(Isoptera: Rhinotermitidae), *Jap.J. Environ. Entomol. Zool.* 17(3): 107–115 (2006).

Table 1 Nutritional Evaluation of Model Menu for Space Habitation

Nutrient	Unit	Recommendation of adult a day Intake	Basic Vegetarian	Basic Menu Loach Insect
Energy	koal	2000.0	1856.0	2011.0
Protein	g	55.0	69.7	96.1
Potassium	mg	1800.0	5410.0	5758.0
Calcium	mg	800.0	905.0	2242.0
Magnesium	mg	310.0	680.0	730.0
Phosphor	mg	1000.0	1793.0	2621.0
Iron	mg	9.0	27.4	34.1
Zinc	mg	8.0	10.2	13.7
Copper	mg	0.8	2.5	2.6
Manganese	mg	4.0	9.7	10.2
Retinol equivalent	mg	700.0	785.0	803.0
Vitamin D	mg	5.0	0.0	5.0
Vitamin E	mg	9.0	11.7	12.4
Vitamin K	mg	70.0	652.0	653.0
Vitamin B1	mg	1.0	2.7	2.8
Vitamin B2	mg	1.3	0.9	2.2
Niacin	mg	12.0	26.1	30.9
Vitamin B6	mg	1.3	2.9	3.0
Vitamin B12	mg	2.4	0.0	10.2
Folic acid	mg	240.0	785.0	804.0
Pantothenic acid	mg	6.0	8.8	9.6
Vitamin C	mg	100.0	175.0	176.0
Cholesterol (upper limit)	mg	700.0	0.0	252.0
Dietary Fiber	g	21.0	39.8	40.1
Sodium Salt (upper limit)	g	9.0	5.9	8.5
n-3 Fatty acid (lower limit)	g	2.4	2.4	2.5
n-6 Fatty acid (upper limit)	g	11.0	13.1	13.2

Table 2 Sufficiency Ratio of Protein : Fat : Carbohydrate in Model Menu for Space Habitation

Amino Acid	Requirement (%)	Basic Vegetarian Menu	Basic Menu Insect Loach
Protein (under 20% of Energy)	20%	15.0	18.1
Fatty acid (20%-30% of Energy)	20%-30%	15.5	16.4
Carbohydrate (50%-70% of Energy)	50%-70%	68.5	64.4

Table 3 Nutritional Evaluation of Each Insect/100g

Nutrient	Unit	Silkworm pupa	Fly	Termite nymph	Bee larva	Locust	Escaligo
Energy	koal	120.00	98.00	147.67	342.73	250.00	247.00
Protein	g	14.30	3.40	10.14	12.85	16.20	26.30
Potassium	mg	0.00	220.00	412.20	0.00	110.00	260.00
Calcium	mg	34.00	90.10	32.30	0.00	11.00	28.00
Magnesium	mg	0.00	34.90	25.70	0.00	24.00	32.00
Phosphor	mg	0.00	116.00	248.00	0.00	110.00	180.00
Iron	mg	0.00	0.72	3.70	0.00	3.00	4.70
Zinc	mg	0.00	0.85	9.10	0.00	1.70	3.20
Copper	mg	0.00	0.09	4.40	0.00	0.36	0.77
Manganese	mg	0.00	0.54	6.40	0.00	0.78	1.21
Retinol equivalent	mg	0.00	67.00	0.00	0.00	42.00	75.00
Vitamin D	mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00
Vitamin E	mg	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	2.80
Vitamin K	mg	0.00	61.00	0.00	0.00	4.00	7.00
Vitamin B1	mg	0.00	0.12	0.00	0.00	0.17	0.08
Vitamin B2	mg	0.00	0.09	0.00	0.00	1.22	1.00
Niacin	mg	0.00	1.56	0.00	0.00	3.80	1.70
Vitamin B6	mg	0.00	0.16	0.00	0.00	0.04	0.12
Vitamin B12	mg	0.04	0.35	0.00	0.00	0.10	0.10
Folic acid	mg	0.00	47.00	0.00	0.00	28.00	54.00
Pantothenic acid	mg	0.00	0.27	0.00	0.00	0.82	0.43
Vitamin C	mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cholesterol (upper limit)	mg	0.00	12.04	0.00	0.00	55.00	77.00
Dietary Fiber	g	0.80	1.30	16.70	14.12	0.00	0.00
Sodium Salt (upper limit)	g	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	4.80
n-3 Fatty acid (lower limit)	g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.151	0.24
n-6 Fatty acid (upper limit)	g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.08



Sensuality examination (top points is 10)

Main food	Brown rice + 30% barley	Average	
		Looks	SD
		7.3	2.9
		Fragrance	8.1
		Taste	8.0
		Totala	8.1
		1.1	
		Looks	8.3
		Fragrance	8.7
		Taste	8.6
		Totala	8.7
		1.8	
		Looks	7.4
		Fragrance	7.9
		Taste	6.6
		Totala	7.3
		2.8	
		Looks	8.4
		Fragrance	9.3
		Taste	9.3
		Totala	8.6
		1.1	
		Looks	9.3
		Fragrance	9.6
		Taste	9.6
		Totala	9.3
		0.8	

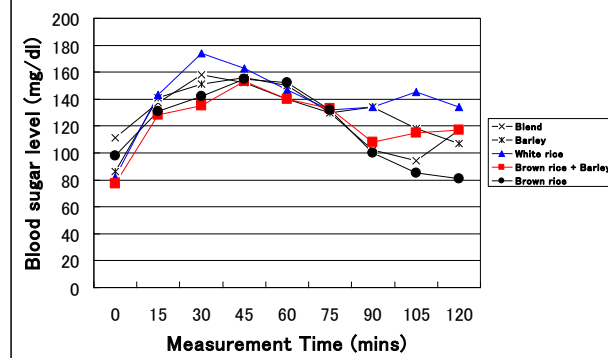
「Hot Loach Marinade」P:F:C ratio (Supper energy = 2205KJ)

	P	F	C
Basics	1764kJ	1764kJ~2205kJ	from 4410kJ to under 6174kJ
Intake	Under 26 g	12g~14g	From 66g to under 91kJ
Ratio	0.69	110.71	101.65

「Hot Loach Marinade」Amino acid score(Supper)

Amino acid score (2005)	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Phe+Tyr	Thr	Trp	Val
Required (mg/gN)	180	410	360	160	390	210	70	220
Basics Total intake (mg)	736	1317	1044	649	1372	691	208	923
Intake (mg/gN)	254	454	360	224	473	238	72	319
Ratio	141	111	100	140	121	114	103	145

Changing of blood sugar level after meal (Normal)





Component (/100g)	Cassava		Sweet potato	
	Root tubers	Leaves	Root tubers	Leaves
Moisture %	62.80	74.80	66.10	84.60
Energy KJ	580.00	-	544.40	189.00
Protein %	0.53	5.10	1.20	4.60
Carbohydrate %	31.83	-	31.50	1.50
Dietary fiber %	1.40	-	2.30	6.50
Ash %	0.84	2.70	1.00	2.00
Ca mg	20.00	350.00	40.00	213.00
P mg	46.00	56.00	46.00	44.20
Mg mg	30.00	-	25.00	46.90
K mg	302.00	-	470.00	680.00
Fe mg	0.23	218.00	0.70	6.58
VA mg	trace	3.00	0.02	0.83
B1 mg	0.05	0.20	0.11	-
B2 mg	0.04	0.30	0.03	-
VC mg	15.00	200.00	29.00	70.00

Table 4 Nutritional Evaluation of A Sample menu

Nutrient	Unit	Recommendation of adult a day Intake	Basic Vegetarian	Sample Menu (Loach Insect)
Energy	kcal	2000.0	1856.0	587.0
Protein	g	55.0	69.7	21.3
Potassium	mg	1800.0	5410.0	1210.0
Calcium	mg	800.0	905.0	664.0
Magnesium	mg	310.0	680.0	169.0
Phosphor	mg	1000.0	1793.0	651.0
Iron	mg	9.0	27.4	6.4
Zinc	mg	8.0	10.2	3.9
Copper	mg	0.8	2.5	0.6
Manganese	mg	4.0	9.7	2.0
Retinol eq	mg	700.0	785.0	273.0
Vitamin D	mg	5.0	0.0	2.0
Vitamin E	mg	9.0	11.7	3.8
Vitamin K	mg	70.0	652.0	210.0
Vitamin B1	mg	1.0	2.7	0.5
Vitamin B2	mg	1.3	0.9	0.8
Niacin	mg	12.0	26.1	7.6
Vitamin B6	mg	1.3	2.9	0.7
Vitamin B12	mg	2.4	0.0	3.9
Folic acid	mg	240.0	785.0	194.0
Pantothen	mg	6.0	8.8	2.9
Vitamin C	mg	100.0	175.0	51.0
Cholesterol	mg	700.0	0.0	95.0
Dietary Fiber	g	21.0	39.8	10.9
Sodium Salt	g	9.0	5.9	2.7
n-3 Fatty	g	2.4	2.4	0.6
n-6 Fatty	g	11.0	13.1	6.8

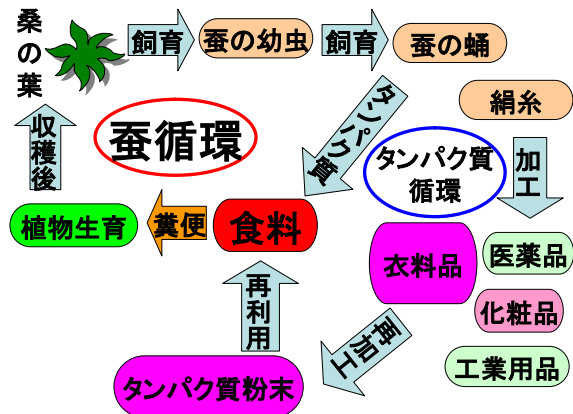


Table 5 Sensuality examination (Top points is 10)

menu	Average	SD	menu		
			Looks	Fragrance	Taste
Main Food Broun rice	Looks	7.3	2.9		
	Fragrance	8.1	1.9		
	Taste	8.0	1.2		
	Total	8.1	1.1		
Main dish Silkworm pupa in Loach ball with lettuce	Looks	8.3	1.8		
	Fragrance	8.7	1.1		
	Taste	8.6	1.8		
	Total	8.7	2.1		
Side dish Okura and Fermented soybeans with grated radish	Looks	7.4	2.4		
	Fragrance	7.9	2.0		
	Taste	6.6	2.8		
	Total	7.3	2.8		
Soup Miso soup	Looks	8.4	1.1		
	Fragrance	9.3	0.8		
	Taste	9.3	0.8		
	Total	8.6	1.1		
Dessert Fried sweet potato seasoned with caramel	Looks	9.3	0.8		
	Fragrance	9.6	0.5		
	Taste	9.6	0.5		
	Total	9.3	0.8		

