

博士（栄養学）学位論文

論文題目

食用アマランサスについての食品栄養学的研究  
—アマランサスの食品機能とその利用についての—考察—

A Study of the Nutritional and Chemical Properties of Amaranthus :  
Its Food Functional Characteristics and Utilization

1999年

指導教員 菅原龍幸教授

氏名 三宅妙子

Taeko MIYAKE

女子栄養大学

博士（栄養学）学位論文

論文題目

食用アマランサスについての食品栄養学的研究

—アマランサスの食品機能とその利用についての考察—

A Study of the Nutritional and Chemical Properties of Amaranthus :  
Its Food Functional Characteristics and Utilization

1999年

指導教員 菅原龍幸教授

氏名 三宅妙子

Taeko MIYAKE

女子栄養大学

## 目 次

Summary	.....	1 ~ 5
第1章 緒 論	.....	1
第2章 食用アマランサスの成分組成とその栄養価		
第1項 実験方法		
1. 試料および調製法	.....	2
2. 分析方法		
(1)一般成分	.....	3
(2)食物繊維	.....	3
(3)無機質	.....	4
(4)ビタミン類	.....	4
(5)脂肪酸組成	.....	4
(6)タンパク質構成アミノ酸	.....	4
(7)アミノ酸スコアの算出	.....	5
第2項 結 果		
1. 子実用アマランサスの性状	.....	5
2. 一般成分	.....	5
3. 食物繊維	.....	5
4. 無機質	.....	6
5. ビタミン類	.....	6
6. 脂肪酸組成	.....	6

7. アミノ酸スコア	.....	7
第3項 考察	.....	7
第4項 要約	.....	11
第3章 食用アマランサスの呈味成分の検討		
第1項 実験方法		
1. 試料および調製法	.....	12
2. 分析方法		
(1)遊離アミノ酸	.....	12
(2)遊離糖・糖アルコール	.....	13
(3)有機酸	.....	13
第2項 結果		
1. 遊離アミノ酸組成	.....	14
2. 遊離糖・糖アルコール組成	.....	14
3. 有機酸組成	.....	15
第3項 考察	.....	15
第4項 要約	.....	17
第4章 食用アマランサスの抗酸化能		
第1節 食用アマランサスの抗酸化能	.....	18
第1項 実験方法		
1. 試料および調製法	.....	19
2. 試薬	.....	19
3. 抗酸化能のスクリーニング	.....	19



4. 抗酸化成分の抽出性		
(1)試料溶液の調製	.....	19
(2)抗酸化力の測定	.....	20
第2項 結果		
1. 食用アマランサスの抗酸化能	.....	20
2. 抗酸化成分の抽出性	.....	21
第3項 考察	.....	21
第4項 要約	.....	22
第2節 食用アマランサスの抗酸化成分の肉団子調製・保存 における抗酸化効果	.....	23
第1項 実験方法		
1. 試料および調製法	.....	23
(1)抽出物の調製	.....	23
(2)肉団子の調製	.....	24
2. 試薬	.....	24
3. 抗酸化力の測定		
(1)抗酸化能のスクリーニング	.....	24
(2)クエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールとの相乗効果	.....	25
(3)アマランサス抽出物の熱安定性	.....	25
(4)アマランサス抽出物の pH 安定性	.....	25
(5)肉団子の油脂の変敗度測定	.....	26
第2項 結果		
1. アマランサス抽出物の抗酸化性	.....	26
2. クエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールとの相乗効果	.....	26
3. アマランサス抽出物の熱安定性	.....	27

4. アマランサス抽出物の pH 安定性	-----	27
5. 肉団子の油脂の変敗度	-----	27
第3項 考 察	-----	28
第4項 要 約	-----	28
第3節 油脂の自動酸化に対する安定性試験,		
暫定オープン試験	-----	29
第1項 実験方法		
1. 試料	-----	29
2. 試薬	-----	30
3. 測定方法	-----	30
第2項 結 果	-----	30
第3項 考 察	-----	30
第4項 要 約	-----	31
第4節 DPPH を用いたラジカル捕捉活性試験		
第1項 実験方法		
1. 試料	-----	31
2. 試薬	-----	31
3. 測定方法	-----	31
第2項 結 果	-----	32
第3項 考 察	-----	32
第4項 要 約	-----	32
第5章 アマランサス子実デンプンの成分組成と調理性の比較		
第1節 アマランサス子実デンプンの性状	-----	33

## 第1項 実験方法

1. 試料および調製法	.....	33
2. デンプンの分離	.....	34
3. 分析および測定方法		
(1)デンプンの定量	.....	34
(2)デンプンの形状および面積	.....	34
(3)デンプンの色	.....	34
(4)デンプンの一般成分	.....	34
(5)デンプンの構成比率	.....	35
(6)デンプンの連続式粘度変化	.....	35
(7)デンプンの膨潤度	.....	35
(8)デンプンの物性特性	.....	36

## 第2項 結果

1. デンプンの定量	.....	36
2. デンプンの形状および面積	.....	37
3. デンプンの色	.....	37
4. デンプンの一般成分	.....	37
5. デンプンの構成比率	.....	37
6. デンプンの連続式粘度変化	.....	37
7. デンプンの膨潤度	.....	38
8. デンプンの物性特性	.....	38

第3項 考察	.....	38
--------	-------	----

第4項 要約	.....	40
--------	-------	----

## 第2節 子実用アマランサス全粒粉を用いたビスケットの特性

### 第1項 実験方法

1. 試料および調製法	-----	40
2. ビスケットの破断応力、脆さ、硬さの物性測定	-----	40
3. 官能検査	-----	41
第2項 結果	-----	41
第3項 考察	-----	41
第4項 要約	-----	42

## 第6章

総括	-----	43
謝辞	-----	48
参考文献	-----	49 ~ 53
表および図	-----	54 ~ 97

## 【 Summary 】

### A Study of the Nutritional and Chemical Properties of *Amaranthus*: Its Food Functional Characteristics and Utilization

*Amaranthus L.* are edible plants that are rich in protein, dietary fiber, minerals, and vitamins. Neglected by researchers, it was considered an underutilized food crop by the U. S. National Academy of Sciences, 1975. *Amaranthus L.* has many varieties that are classified A. vegetables, A. grains, etc. In spite of great promise, there have been few reports on its nutritional and chemical properties.

The objective of this study was to analyze the edible amaranthus which are cultivated and used in food preparations in Japan. There are 12 varieties: Rarushaku, BAYAM.M, BAYAM.P, ABIEBIE, Maruba, Yanagiba, and Baiamu which belong to A. vegetables and Mexico, Nairobi, Nouken c.91-3, K4, and Akou which belong to A. grains. Since the young stems and leaves of A. grains are used as vegetables, the chemical composition of the leaves of all 12 species, in addition to the five grains, was determined.

Analyses of 100 g of dry matter of amaranthus leaves and grains showed the following, mean  $\pm$  S. D. :

- 1) The color of the rinds of A. grains was light yellow or light red, and they weighed from 0.39 g to 0.76 g per 1,000 seeds.
- 2) Composition: crude protein  $24.9 \pm 5.2\%$ , crude fat  $2.5 \pm 0.8\%$ , ash  $21.3 \pm 1.6\%$ , and carbohydrates  $51.2 \pm 7.0\%$  in 12 A. leaves; crude protein  $16.4 \pm 1.1\%$ , crude fat  $5.2 \pm 0.7\%$ , ash  $3.0 \pm 0.2\%$ , and carbohydrates  $75.3 \pm 1.7\%$  in five A. grains.
- 3) Dietary fiber (D.F.) content was high: water soluble D.F.,  $8.1 \pm 4.5\%$ , and water insoluble D.F.,  $39.5 \pm 1.8\%$ , in 12 A. leaves; water soluble D.F.,  $2.8 \pm 0.1\%$ , and water insoluble D.F.,  $10.6 \pm 0.4\%$ , in five A. grains.
- 4) The calcium content was especially high and iron, phosphorus, potassium,

and magnesium were also high: Ca  $4,500 \pm 1,041$  mg, P  $1,068 \pm 154$  mg, Fe  $33.5 \pm 29.4$  mg, K  $8,323 \pm 1,776$  mg, Mg  $710 \pm 163$  mg in 12 A. leaves; Ca  $339 \pm 50$  mg, P  $736 \pm 56$  mg, Fe  $6.9 \pm 1.4$  mg, K  $303 \pm 40$  mg, Mg  $240 \pm 7$  mg in five A. grains.

- 5) Vitamin content was high: carotene  $34,864 \pm 23,393$   $\mu$ g, ascorbic acid  $622 \pm 239$  mg in nine A. leaves; thiamin  $0.06 \pm 0.01$  mg and riboflavin  $0.18 \pm 0.03$  mg in five A. grains.
- 6) The main fatty acid components were Linolenic a. 53% for A. vegetables, and Linoleic a. 43% and Oleic a. 31% for A. grains.
- 7) The mean amino acid scores were 67 by the 1973 FAO/WHO standard pattern for adults and 73 by the 1985 FAO/WHO/UNU standard pattern for preschoolers, 2-5 years of age. The lowest scores were for Valine and Leucine by the standard patterns of 1973 and 1985, respectively.

Next, the taste components, including free amino acids, free sugars, free alcohols, and organic acids, were identified.

- 1) A. vegetables had 18 kinds of protein type free amino acids and seven kinds of non-protein type free amino acids. A. grains had 20 kinds of protein type free amino acids and five kinds of non-protein type free amino acids.
- 2) The amount of total free amino acids was  $1,240 \pm 190$  mg in A. vegetables and the amounts of those most concerned with taste were as follows: alanine  $380 \pm 140$  mg, glutamic acid  $320 \pm 60$  mg, aspartic acid  $100 \pm 40$  mg, serine  $40 \pm 8$  mg, glutamine  $30 \pm 10$  mg, proline  $30 \pm 20$  mg, asparagine  $30 \pm 3$  mg. The amount of total free amino acids was  $370 \pm 80$  mg in A. grains. Ninety percent of both groups were protein type free amino acids.
- 3)  $\gamma$  - Aminobutyric acid was the most abundant non-protein type free amino acid,  $80 \pm 70$  mg in A. vegetables and  $20 \pm 8$  mg in A. grains.
- 4) Total free sugars were  $3,170 \pm 1,100$  mg in A. vegetables and  $6,200 \pm 3,470$  mg in A. grains. A. vegetables were richest in sucrose,



1,840  $\pm$  1,080 mg, followed by glucose, 1,000  $\pm$  450 mg, and fructose, 320  $\pm$  70 mg. Similarly, A. grains were richest in sucrose, 3,730  $\pm$  2,840 mg, followed by glucose, 2,170  $\pm$  950 mg, and fructose, 290  $\pm$  170 mg. Free alcohol content was as follows : A. vegetables contained glycerol, 70  $\pm$  10 mg, and A. grains contained glycerol, 170  $\pm$  60 mg and sorbitol, 140  $\pm$  80 mg. Free sugars and free alcohols are also involved in taste.

- 5) Oxalic acid was the main organic acid constituent, 480  $\pm$  210 mg in A. vegetables and 700  $\pm$  250 mg in A. grains.

Another objective of this study was to determine if edible amaranthus contains any natural antioxidant materials. 17 samples, 12 leaves and five grains, were screened using ethanol extracts in a methyl linoleate oil system. Fifteen of the samples contained rather strong antioxidant activity. The 15 active samples were further examined by testing ether, ethanol, and water extracts emulsified in linoleic acid for 100 days. The results were as follows: thirteen of the 45 samples had rather strong antioxidant activity. The extraction solvent had an effect on the active components.

These 13 active samples were further examined for synergistic antioxidant effects with citric acid and  $\alpha$ -tocopherol, heat treatment at 100 °C, and pH treatment at pH 3.0, 5.0, 7.0, and 9.0. Eight of the samples were also examined with a minced pork model system. The results were as follows :

- 1) Seven samples had strong antioxidant activities: water extracts of the leaves of ABIEBIE, Yanagiba, and Nairobi, ethanol extracts of the leaves of BAYAM.M and ABIEBIE, and ether extracts of the leaves of Baiamu and Nairobi.
- 2) Water extracts of ABIEBIE and Yanagiba leaves showed a synergistic antioxidant effect with citric acid, and water extracts of ABIEBIE and Yanagiba leaves and ethanol extract of ABIEBIE leaves showed a synergistic antioxidant effect with  $\alpha$ -tocopherol.

- 3) Water extracts of ABIEBIE and Yanagiba leaves were stable against heat treatment at 100 °C for 2h.
- 4) Water extracts of ABIEBIE, Yanagiba, and Nairobi leaves were stable at pH's 3.0, 5.0, 7.0, and 9.0.
- 5) Water extracts of ABIEBIE and Yanagiba leaves and the ethanol extract of ABIEBIE leaves showed activity with a minced pork model system. The synergistic antioxidant effect with the addition of citric acid or  $\alpha$ -tocopherol showed a stronger antioxidant activity.

Next, seven samples were mixed with refined lard to test for the stability of the antioxidant component. Only the water extract of Nairobi leaves retained strong antioxidant activity for 100 days.

The HPLC (High Performance Liquid Chromatography) method for evaluation of the free radical-scavenging activity of foods, using 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl, was used in 13 samples. Eight samples showed free radical-scavenging activity. Three of these, water extracts of ABIEBIE, Yanagiba, and Nairobi leaves, showed the particularly strong free radical-scavenging activity.

Finally, the starch in A. grains was tested for its characteristics and its suitability by baking biscuits.

- 1) A. grains had about 50% starch, mostly amylopectin, 92 ~ 96%.
- 2) The starch granules were very small,  $2.0 \pm 1.0 \mu\text{m}^2$ .
- 3) Amylography showed K4 and Akou starches swelled more with resulting damage to the starch.
- 4) The maximum swelling was 10.5 for Mexico, 12.9 for Nairobi, and 19.0 for K4 at 82 °C, and 13.0 for Nouken c.91-3 and 19.0 for Akou at 93 °C.
- 5) Analysis with a texturometer showed that the swelled starch was gelatinous and soft and remained soft and lacked adhesiveness at 4 °C.

6) The starch of A. grains increased brittleness in cookies. When biscuits were made from 30% A. grains powders and 70% wheat flour, they were crisper than the control biscuit (100% wheat flour). Biscuits using K4 or Akou grain's powders were especially crisp and had higher sensory evaluation scores (tastiness).

In conclusion, A. vegetables and A. grains are excellent nutritional foods and hold promise as sources of protein, dietary fiber, minerals, and vitamins. The characteristics of the starch are suitable for use in food preparations, and water extracts of edible amaranthus have natural antioxidants.

## 第1章 緒 論

アマランサス (*Amaranthus L.*) は、メキシコからアンデス南部に至る地域を原産地とする双子葉植物で、アカザ目、ヒユ科ヒユ属の1年生草本植物である<sup>1)</sup>。

アマランサスは、米国国立科学アカデミーの「経済的価値が期待される未利用熱帯植物」の研究によると、タンパク質、ビタミン類などを豊富に含むことから、有望とされる36種の植物の一つに選ばれている<sup>2)</sup>。

日本では、(財)農産業振興奨励会が1986年から農林水産省の指導・援助のもとに、水田に導入可能なアマランサスを取り上げ、1987年以降、種子の収集、系統選抜、栽培特性、食品加工特性等の調査が行われてきた<sup>3, 4)</sup>。現在世界には60余種、国内では約10種が知られており、葉菜類としての野菜用、穀物としての子実用、その他に観賞用がある<sup>5)</sup>。

本論文は、アマランサスが広く食用作物として期待されているにもかかわらず、国内外とも食品成分の研究例は少ないことから、国内で栽培されている野菜用7種と子実用5種、計12種について一般成分、食物繊維含量、ミネラル成分、ビタミン類、ならびに脂肪酸組成、タンパク質構成アミノ酸について検討を行い、更に嗜好性に関係する遊離アミノ酸、遊離糖・糖アルコール、有機酸についても検討を行い、アマランサスの食品栄養学的性状を明らかにした。

また、食品の三次機能の観点から、アマランサスが抗酸化活性を有するかどうかを検討し、抗酸化能を有することを明らかにした。

最後に、子実用アマランサスのデンプンに注目し、その特性を検討すると共に、ビスケット調製につき調理科学的検討を試み、ショートネス改良効果を確認したものである。

## 第2章 食用アマランサスの成分組成とその栄養価

### 第1項 実験方法

#### 1. 試料および調製法

試料は(財)農産業振興奨励会から入手した種子を用いて栽培したものである。種類については、野菜用のラルシャーク、バヤム・エム、バヤム・パイ、アビエビエ、丸葉、柳葉、バイアムの7種と、子実用では、*A. hypochondriacus* に属するメキシコ、ナイロビ、農研セ 91-3 と、*A. caudatus* に属するK4と赤穂の5種、計 12 種である。

野菜用7種については、1996年に岡山県のアマランサス生産地の1つである賀陽町の農家にて栽培し、適期に収穫した。野菜用は、茎が30～40cmに生育した頃、地上部を20cm残して刈り取り収穫した。その後、分岐が30cmに伸びるのを目安に、分岐の基部を5cm残して刈り取り、繰り返し収穫した<sup>6,7)</sup>。今回野菜用については、この収穫方法に準じて6月下旬、7月下旬、8月中旬と3回収穫したものをそれぞれ分析し、それらの平均値を求めた。なお、ビタミン類は女子栄養大学附属農園で栽培し、8月下旬に収穫したものを分析に用いた。子実用5種についても、岡山県賀陽町で栽培し、子実は1996年の8月下旬に、茎葉は1997年の6月下旬に収穫したものを分析に用いた。

茎葉は、収穫後直ちに一部は水分、灰分、ビタミン類の分析を行い、残りは凍結乾燥し、他の成分の分析用試料とした。

子実は、穂を収穫後10日前後温室内にて自然乾燥させた後、唐箕を用いて子実を分別収集し、夾雑物を除去するために水洗し、35～40℃で一晩乾

燥したものを粉碎して分析用試料とした。

## 2. 分析方法

### (1) 一般成分

一般成分は、主として四訂日本食品標準成分表(以下四訂食品成分表とする)<sup>8)</sup>策定に用いられた分析法と五訂日本食品標準成分表分析マニュアル<sup>9)</sup>に準じて測定した。

#### ① 水分:

茎葉;常圧 65℃恒量乾燥法

子実;常圧 135℃恒量乾燥法を用いた。

#### ② タンパク質:

茎葉;サリチル酸添加

マクロ改良ケルダール法

子実;マクロ改良ケルダール法

タンパク質量は、定量した全窒素量に、窒素-タンパク質換算係数 6.25 を乗じて算出した。

#### ③ 脂質:

茎葉;ソックスレーによるエチルエーテル抽出法

子実;酸分解法を用いた。

④ 灰分:常法通り 550℃で残存炭素が無くなるまで灰化し恒量を求めた。

### (2) 食物繊維

#### ① 中性洗剤繊維 (Neutral Detergent Fiber :以下 NDF と略す):

Van-Soest による Detergent fiber 法<sup>10)</sup>を用いた。

② 総食物繊維 (Total Dietary Fiber :以下 TDF と略す):印南らの酵素-重量法<sup>11)</sup>に準じて行った。水溶性繊維 (Soluble Dietary Fiber :以下



SDFと略す)と不溶性繊維(Insoluble Dietary Fiber:以下IDFと略す)の総和をTDFとした。

### (3) 無機質

① Ca・Fe・Mg・Mn・Zn・Cu: 550℃で灰化する乾式灰化法を用いて試料溶液を調製した。この試料溶液の一部を日立 Z-6,100 形偏光ゼーマン原子吸光分光光度計を用いて測定した。なお、試料溶液には、10%の塩化ランタンを含有させて他の物質の干渉作用を防止した。

② P: ①の試料溶液を用いて、モリブデン青比色法により測定した。

③ Na および K: 1%塩酸抽出法を用いて試料溶液を調製し、①と同様に測定した。

### (4) ビタミン類

ビタミン類は、以下の方法に従って分析した。カロテン<sup>12)</sup>、ビタミン B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub><sup>9, 13)</sup>、ビタミン C<sup>14)</sup>は HPLC 法、ナイアシンは微生物定量法を用いた。

### (5) 脂肪酸組成

脂肪酸組成は、試料から脂質を抽出し、これをメチルエステル化後、ガスクロマトグラム(島津 GC-15A)を用いて分析した<sup>15)</sup>。分析条件は、カラムオープン温度 180℃から2℃/分で 207℃まで昇温、インジェクション温度 207℃、ディテクター温度 207℃、キャピラリーカラム HR-Thermon 3,000B (ULBON 社製)、キャリアガスはヘリウムを使用した。

### (6) タンパク質構成アミノ酸

タンパク質構成アミノ酸組成の分析は、真空下において6N HCLにより 110℃-24時間加水分解後、塩酸を減圧下で除去し、pH2.2の0.2Nクエン酸ナトリウム緩衝液に溶解して試料溶液とした。シスチンおよびメチオニンは過ギ酸により分解後、6N HCLにより 150℃-20時間加水分解し試料溶液を調製し、シスチン酸およびメチオニンスルホンとして測定した。これらの試料は、

高速アミノ酸自動分析計 ( HITACHIL-8,500A ) を用いて分析を行った。トリプトファンは、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$  による加水分解により試料溶液を調製し、高速液体クロマトグラフ ( カラム: Inertsil-ODS2 ) を用いて測定した。

#### (7) アミノ酸スコアの算出

アミノ酸スコアは、1973年 FAO/WHO ( 一般用 ) および 1985年 FAO/WHO/UNU ( 2~5歳用 ) 評定パターン<sup>16)</sup>よりアミノ酸の割合を算出して求めた。

各種成分の含量は、乾物基準換算 100g 当たりの数値を、脂肪酸組成は重量%を示した。

## 第2項 結果

### 1. 子実用アマランサスの性状

種皮の色と千粒重を Table 1 に示した。種皮の色は、*A. hypochondriacus* のメキシコ、ナイロビ、農研セ 91-3 が淡黄色、*A. caudatus* の K4 と赤穂が淡紅色であった。千粒重は、*A. hypochondriacus* では 0.7g 以上、*A. caudatus* では 0.4g 前後を示し、これらの性状は、既報<sup>4)</sup>と同様であった。

### 2. 一般成分

野菜用 7 種と子実用 5 種、計 12 種の茎葉 ( 以後食用 12 種とする ) の一般成分分析値を Table 2 に、子実用 5 種の一般成分分析値を Table 3 に示した。食用 12 種の水分は  $86.2 \pm 1.8\%$ 、タンパク質は  $24.9 \pm 5.2\%$ 、脂質は  $2.5 \pm 0.8\%$ 、灰分は  $21.3 \pm 1.6\%$  であった。子実用 5 種のタンパク質は  $16.4 \pm 1.1\%$ 、脂質は  $5.2 \pm 0.7\%$ 、灰分は  $3.0 \pm 0.2\%$  であった。

### 3. 食物繊維

食用 12 種の食物繊維含量を Table 4 に、子実用 5 種の食物繊維含量を Table 5 に示した。食用 12 種の SDF は  $8.1 \pm 4.5\%$ 、IDF は  $39.5 \pm 1.8\%$ 、セルロースは  $12.6 \pm 1.3\%$ 、ヘミセルロースは  $3.2 \pm 0.9\%$ 、ADF-リグニン

は  $2.9 \pm 0.3\%$  であった。子実用5種の SDF は  $2.8 \pm 0.1\%$ 、IDF は  $10.6 \pm 0.4\%$ 、セルロースは  $3.6 \pm 0.6\%$ 、ヘミセルロースは  $2.4 \pm 0.7\%$ 、ADF-リグニン は  $2.5 \pm 0.6\%$  であった。

#### 4. 無機質

食用 12 種の可食部 100g 中の無機質の分析値を Table 6 に、子実用5種の可食部 100g 中の無機質の分析値を Table 7 に示した。食用 12 種の Ca は  $4,500 \pm 1,041\text{mg}$ 、P は  $1,068 \pm 154\text{mg}$ 、Fe は  $33.5 \pm 29.4\text{mg}$ 、Na は  $53 \pm 8\text{mg}$ 、K は  $8,323 \pm 1,776\text{mg}$ 、Mg は  $710 \pm 163\text{mg}$ 、Mn は  $10 \pm 6\text{mg}$ 、Zn は  $5,615 \pm 1,263 \mu\text{g}$ 、Cu は  $355 \pm 302 \mu\text{g}$  であった。品種による差異は Ca、Fe、K、Mg、Mn、Cu にみられ、子実用5種の茎葉は、野菜用7種より、Fe は 6.1 倍と非常に高く、Ca と K も 1.3 倍と高かったが、Mg は 0.7 倍、Mn は 0.3 倍、Cu は検出されなかった。子実用5種の Ca は  $339 \pm 50\text{mg}$ 、P は  $736 \pm 56\text{mg}$ 、Fe は  $6.9 \pm 1.4\text{mg}$ 、Na は  $2\text{mg} \pm 1\text{mg}$ 、K は  $303 \pm 40\text{mg}$ 、Mg は  $240\text{mg} \pm 7\text{mg}$ 、Mn は  $3 \pm 2\text{mg}$ 、Zn は  $3,484 \pm 674 \mu\text{g}$ 、Cu は  $225 \pm 40 \mu\text{g}$  であった。

*A. hypochondriacus* は、*A. caudatus* より、P、Fe、Zn、Cu 含量が高く、品種による差異が見られた。

#### 5. ビタミン類

食用 9 種の可食部 100g 中のビタミン類の分析値を Table 8 に、子実用5種の可食部 100g 中のビタミン類の分析値を Table 9 に示した。食用9種のカロテンは  $34,864 \pm 23,393 \mu\text{g}$ 、ビタミン B<sub>1</sub> は  $0.16 \pm 0.05\text{mg}$ 、ビタミン B<sub>2</sub> は  $1.76 \pm 0.38\text{mg}$ 、ナイアシンは  $14.2 \pm 3.7\text{mg}$ 、ビタミン C は  $622 \pm 239\text{mg}$  であった。子実用5種のビタミン B<sub>1</sub> は  $0.06 \pm 0.01\text{mg}$ 、ビタミン B<sub>2</sub> は  $0.18 \pm 0.03\text{mg}$ 、ナイアシンは  $1.5 \pm 0.3\text{mg}$  であった。

#### 6. 脂肪酸組成

野菜用7種と子実用5種、計 12 種の脂肪酸組成の分析値を Table10 に示した。野菜用の主な脂肪酸は、リノレン酸 53 %、パルミチン酸 17 %、リノール酸 14 % であり、品種による差異は見られなかった。子実用の主な脂肪酸は、リノール酸 43 %、オレイン酸 31 %、パルミチン酸 21 % であり、

*A. hypochondriacus* では、オレイン酸が、*A. caudatus* ではリノール酸が、やや高い傾向を示し、品種による差異が見られた。

#### 7. アミノ酸スコア

子実用5種のタンパク質構成アミノ酸の分析値を Table11 に示した。総アミノ酸含量のタンパク質量に対する割合は、ナイロビの 73.8 % から赤穂の 84.8 % で、平均 77.4 % であった。各試料の 1973 年 FAO/WHO (一般用) および 1985 年 FAO/WHO/UNU (2~5歳用) 評定パターンに基づいたアミノ酸スコアを Table12 に示した。1973 年パターンに基づくアミノ酸スコアは、メキシコの 61 から赤穂の 76 で、平均は 67、第一制限アミノ酸は、ナイロビではロイシン、その他についてはバリンであった。1985 年パターンに基づくアミノ酸スコアは、ナイロビの 69 から赤穂の 83 で、平均は 73、第一制限アミノ酸は、ロイシンであった。

#### 第3項 考 察

我が国で古くより利用されている雑穀のヒエの千粒重は 2.16 ~ 3.09g、アワでも 1.57 ~ 2.52g<sup>17)</sup> あり、アマランサスは、ヒエ、アワよりやや小粒の子実に属していた。

食用 12 種の一般成分値は、Ezeala D.O.<sup>18)</sup>、Prakash D.<sup>19)</sup>、Singhal R.S.<sup>20)</sup>、中村<sup>6)</sup>らの報告とほぼ一致した。また、これらの平均値を四訂食品成分表<sup>8)</sup>に収載されている野菜 115 種の平均値と比較すると、タンパク質は 1.4 倍、脂質は 1.5 倍、灰分は 2.9 倍と高い値であった。

子実用5種の一般成分値は、五訂日本食品標準成分表—新規食品編—(以下五訂食品成分表とする)<sup>21)</sup>、既報<sup>3,4)</sup>、Rayas D.P.<sup>22)</sup>、Singhal R.S.<sup>20)</sup>、Bressani R.<sup>23)</sup>らの報告とほぼ一致した。また、これらの平均値を四訂食品成分表<sup>8)</sup>に収載されている穀類の粉(薄力粉、中力粉、強力粉、上新粉、白玉粉、そば全層粉、コーンフラワー、ライ麦粉)8種の平均値と比較すると、タンパク質は1.6倍、脂質は2.4倍、灰分は4.3倍と高い値であった。これは子実を種皮や胚芽部分を含めた全粒粉として利用し、歩留も95%と高いためと考えられた。

食用アマランサスの茎葉の食物繊維量については国内外共に分析例がほとんどみられないが、四訂食品成分表<sup>8)</sup>に収載されている野菜類58種の平均値と比較すると、SDFは2.2倍、IDFは2.3倍と特に高い値であった。ここで、野菜用7種と子実用5種の茎葉では、SDFに明らかな差が見られた。その理由としては収穫時の茎葉の長さが野菜用では約25cm、子実用では約15cmであり、この成育段階の差が食物繊維含量に影響を及ぼしていると考えられる。このことは、6月に収穫した子実用5種の茎葉とほぼ同時期に収穫した野菜用7種の食物繊維含量にほとんど差が認められなかったことから裏付けられよう。

子実用アマランサスの食物繊維量についても国内外共に分析例がほとんどみられないが、五訂食品成分表<sup>21)</sup>と比較すると、SDFは2.2倍、IDFは1.5倍と高い値であった。また、四訂食品成分表<sup>8)</sup>に収載されている穀類の粉5種の平均値と比較すると、SDFは1.4倍、IDFは3.1倍と高い値であった。

無機質についても、分析例が少ないが、食用12種の無機質は、Naの含有量が非常に低く、Ca、K、Mgの含有量が高いというEzeala D.O.<sup>18)</sup>の報告と一致した結果が得られた。また、四訂食品成分表<sup>8)</sup>と食品の微量元素含量表<sup>24)</sup>に収載されている野菜115種の平均値と比較すると、Caは8.8倍と特



に高く、Mgは3.7倍、Feは3.6倍、Mnは3.5倍、Kは2.9倍、Pは2.8倍と高い値であった。

子実用5種の無機質含量は、五訂食品成分表<sup>21)</sup>、Singhal R.S.<sup>20)</sup>、相原<sup>25)</sup>らの分析例と比較すると、Fe、Na、K、Zn、Cuに差が見られた。すなわち、*A. hypochondriacus*のFe含有量は、Singhal R.S.の報告によると7.5～21.7mgを示し、分析結果<sup>26)</sup>の平均値の3.1倍を示す品種があった。Naについては、Singhal R.S.や相原らの報告では6.7～100mgであったが、分析結果や五訂食品成分表ではわずか1～2mgであった。KとZnについては五訂食品成分表の数値が、Singhal R.S.の報告の最高値よりも更に高く、Kでは1.2倍、Znでは1.5倍であった。*A. hypochondriacus*のCu含有量は、五訂食品成分表やSinghal R.S.の報告によると600～1,000 μgを示し、分析結果の平均値の2.3～3.9倍と高い値であった。なおその他の無機質については数値がほぼ一致した。また、四訂食品成分表<sup>8)</sup>に収載されている穀類の粉8種の平均値と比較すると、Caは21.2倍と特に高く、PとFeは5.3倍、Kは1.8倍、そしてMgとZnの分析値を穀類の粉5種の平均値と比較すると、Mgは4.4倍、Znは3.9倍といずれも高い値であった。

食用アマランサスのビタミン類の分析は、ビタミンCについて数例<sup>27, 28)</sup>のみであるが、分析結果<sup>29)</sup>は、そこで報告されている数値62～209mgとほぼ一致した。また、これらの平均値を四訂食品成分表<sup>8)</sup>に収載されている野菜115種の平均値と比較すると、カロテンは4.2倍と特に高く、ビタミンCは2.4倍、ナイアシンは2.1倍であった。

子実用5種の茎葉は、前述のとおり成育途中で収穫するため、約15cmと小さい。ビタミンC量とカロテン量が、野菜用4種に比べて少なかったのは、このためではないかと考える。

野菜用アマランサスの収穫期は6月から10月頃で、生育期間が約1ヶ月と



短い。この時期は、葉菜類の出荷量が低下する時期とも一致する。このため、夏場の葉菜類の出荷量不足を補うばかりでなく、食物繊維、Ca、ビタミンC、カロテンの供給源としても、今後注目すべき食品素材と考えられる。

子実用5種の分析値は、五訂食品成分表<sup>21)</sup>、Singhal R.S.<sup>20)</sup>、相原<sup>25)</sup>らの報告とほぼ一致した。また、これらの平均値を四訂食品成分表<sup>8)</sup>に記載されている穀類の粉8種の平均値と比較すると、ビタミンB<sub>1</sub>は2.8倍、B<sub>2</sub>は3.0倍と高い値であった。

野菜用7種の脂肪酸組成については、分析例がほとんどみられない。日本食品脂溶性成分表<sup>30)</sup>に記載されている小松菜、大根葉、ホウレンソウの脂肪酸組成と近似していた。子実用5種の脂肪酸組成は、既報<sup>3)</sup>やBressani R.<sup>23)</sup>の報告とほぼ一致した。また、五訂食品成分表<sup>21)</sup>の飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸との割合ともほぼ一致した。

子実用のアミノ酸スコアは、Singhal R.S.<sup>20)</sup> や Rita A. Teutonico<sup>31)</sup>の報告によると、同一品種についてもかなりの差が見られると報告しているが、分析結果<sup>26)</sup>では、同一品種での差は見られなかった。また、これらの結果を改訂日本食品アミノ酸組成表<sup>16)</sup>に記載されている穀類の1973年パタンに基づくアミノ酸スコアと比較すると、アマランサスは、そば全層粉の92やえんばくオートミールの76には劣るが、水稲玄米、ライ麦玄穀、精白米、ライ麦粉、押し麦と同程度で、あわ精白粒の35、はとむぎ精白粒の29、強力粉の38、コーングリッツの32などよりはるかに優れていた。また穀類では、そば等を除き一般に穀物の第一制限アミノ酸がリジンであるのに対し、アマランサスはリジンが比較的多いことから、穀類とアマランサスを併用することは補足効果が期待できるものと考えられる。

しかし、現在アマランサスのタンパク質量は、ケルダール窒素量に窒素ータンパク質換算係数6.25<sup>3,4)</sup>あるいは5.85<sup>20,31)</sup>を乗じて求められている。ケル

ダール法により測定される窒素は、タンパク質、遊離アミノ酸に由来するものの他に核酸、硝酸、アンモニアなどの非タンパク態窒素を含むものである。したがって、真のタンパク質量の算定には、非タンパク態窒素の影響を除外した値を用いる必要があり、各食品のアミノ酸分析をもとに窒素—タンパク質換算係数の見直しが行われつつある<sup>32, 33)</sup>。今回測定したタンパク質構成アミノ酸量をもとにアミノ酸残基量を総窒素量で除する方法<sup>32)</sup>により算定した窒素—タンパク質換算係数は、ナイロビの 3.95 から赤穂の 4.56 で、平均 4.16 となり現在慣用されている数値よりもかなり低く、アマランサスのタンパク質含量の算出に際して、多大な影響を与えることから、今後、更に検討を進めていく必要があると考える。

#### 第4項 要 約

食用アマランサス12種について、食品成分の分析を行った。

1)子実用の種皮の色は、淡黄色または淡紅色、千粒重は 0.39 ~ 0.76g であった。

2)食用 12 種は、タンパク質 24.9 ± 5.2 %、脂質 2.5 ± 0.8 %、灰分 21.3 ± 1.6 % であり、子実用5種は、タンパク質 16.4 ± 1.1 %、脂質 5.2 ± 0.7 %、灰分 3.0 ± 0.2 % であった。

3)食用 12 種は、SDF 8.1 ± 4.5 %、IDF 39.5 ± 1.8 %、セルロース 12.6 ± 1.3 %、ヘミセルロース 3.2 ± 0.9 %、ADF—リグニン 2.9 ± 0.3 % であり、子実用5種は、SDF 2.8 ± 0.1 %、IDF 10.6 ± 0.4 %、セルロース 3.6 ± 0.6 %、ヘミセルロース 2.4 ± 0.7 %、ADF—リグニン 2.5 ± 0.6 % であった。

4)食用 12 種は、Ca 4,500 ± 1,041mg、P 1,068 ± 154mg、Fe 33.5 ± 29.4mg、Na 53 ± 8mg、K 8,323 ± 1,776mg、Mg 710 ± 163mg、

Mn  $10 \pm 6$ mg、Zn  $5,615 \pm 1,263$   $\mu$ g、Cu  $355 \pm 302$   $\mu$ gであり、子実用5種は、Ca  $339 \pm 50$ mg、P  $736 \pm 56$ mg、Fe  $6.9 \pm 1.4$ mg、Na  $2 \pm 1$ mg、K  $303 \pm 40$ mg、Mg  $240 \pm 7$ mg、Mn  $3 \pm 2$ mg、Zn  $3,484 \pm 674$   $\mu$ g、Cu  $225 \pm 40$   $\mu$ gであった。

5)食用9種は、カロテン  $34,864 \pm 23,393$   $\mu$ g、ビタミン B<sub>1</sub>  $0.16 \pm 0.05$  mg、ビタミン B<sub>2</sub>  $1.76 \pm 0.38$ mg、ナイアシン  $14.2 \pm 3.7$ mg、ビタミン C  $622 \pm 239$ mgであり、子実用5種は、ビタミン B<sub>1</sub>  $0.06 \pm 0.01$ mg、ビタミン B<sub>2</sub>  $0.18 \pm 0.03$ mg、ナイアシン  $1.5 \pm 0.3$ mgであった。

6)脂肪酸組成は、野菜用7種では、リノレン酸  $53 \pm 2$  %、パルミチン酸  $17 \pm 1$  %、リノール酸  $14 \pm 1$  %であり、子実用5種では、リノール酸  $43 \pm 6$  %、オレイン酸  $31 \pm 4$  %、パルミチン酸  $21 \pm 3$  %であった。

6)子実用5種のアミノ酸スコアは、1973年 FAO/WHO パタンによると67、1985年 FAO/WHO/UNU パタンによると73であった。第一制限アミノ酸は、1973年(一般用)によるとバリン、1985年(2~5歳用)によるとロイシンであった。

### 第3章 食用アマランサスの呈味成分の検討

#### 第1項 実験方法

##### 1. 試料および調製法

試料および調製法は、第2章第1項1.と同様とした。

##### 2. 分析方法

###### (1) 遊離アミノ酸

遊離アミノ酸の測定は試料 0.5g に 70 %エタノール溶液 50ml を加えホモジナイズし、100 °Cの恒温槽で 30 分間加熱還流後、ろ過し、ろ液を得た。抽出残渣は更に同様の方法で2回抽出し、ろ液を合わせた。次いで 40 °C以下で減圧濃縮し、ジエチルエーテルで脱脂後、pH2.2 クエン酸リチウム緩衝液で定容し試料溶液とした。分析はアミノ酸自動分析計(日立 L-8,500A )を使用し、生体液分析法により、タンパク質非構成アミノ酸 11 種を含む遊離アミノ酸 31 種を分析した。ピークの同定は標品との溶出時間の比較により行った。

### (2) 遊離糖・糖アルコール

遊離糖・糖アルコールの測定は試料 5g を磨砕後、70 %エタノール溶液で 25mlとし一昼夜浸漬後、4,000rpm で 15 分間遠心分離し、上澄液を 0.45  $\mu$ mのフィルターでろ過し、試料溶液とした。分析は、高速液体クロマトグラフを使用し、送液ポンプに日立 L-6,000 、検出器に日立 RI-L3,300 を用いた。測定条件は、カラムに日立 C-610 ( 10.7mm  $\phi$   $\times$  300mmL )を用い、カラム温度 60 °C、流速 1.0ml/min 、移動相蒸留水で分析した。ピークの同定は標品との溶出時間の比較により行い、データ処理はクロマトデータ処理(日立 D-2,500)で行った。

### (3) 有機酸

有機酸の測定は、標準操作法に準拠し<sup>34)</sup>、ガスクロマトグラフ(島津 GC-4CM PF)で分析した。試料1.5g を磨砕後、80 %エタノール溶液 60ml を加えホモジナイズし 90 °Cの恒温槽で 15 分間加熱還流後、ろ過し、ろ液を得た。抽出残渣は更に同様の方法で1回抽出し、ろ液を合わせた。ろ液は 0.1N-水酸化ナトリウム溶液で中和後、40 °C以下で減圧濃縮し 10ml 以下とし、遠心分離して得た上澄部をイオン交換樹脂カラムに通した。有機酸の測定条件を Table13 に示した。ピークの同定は標品との溶出時間の比較により行い、データ処理はクロマトパック(島津 C-R6A)で行った。

なお、各成分含量は、乾物基準換算 100g 当たりの数値で示した。

## 第2項 結果

### 1. 遊離アミノ酸組成

遊離アミノ酸の分析値を Table14-1,2,3 に示した。野菜用7種ではタンパク質構成アミノ酸 18 種、タンパク質非構成アミノ酸7種、計 25 種、子実用5種ではタンパク質構成アミノ酸 20 種、タンパク質非構成アミノ酸5種、計 25 種が検出され測定された。総遊離アミノ酸含量は、野菜用では  $1,244 \pm 195\text{mg}$ 、子実用では  $375 \pm 85\text{mg}$  であった。野菜用と子実用は、いずれもタンパク質構成アミノ酸含量が多く、その割合は 90 % であった。

野菜用では、タンパク質構成アミノ酸中アラニンが  $381 \pm 147\text{mg}$  で最も多く、次いでグルタミン酸  $330 \pm 67\text{mg}$ 、アスパラギン酸  $108 \pm 45\text{mg}$  の順で、これら3種類は総遊離アミノ酸含量の約 65 % を構成していた。シスチン、メチオニンは検出されなかった。またタンパク質非構成アミノ酸では  $\gamma$ -アミノ酪酸が  $80 \pm 76\text{mg}$  で最も多く、次いで  $\alpha$ -アミノアジピン酸  $18 \pm 4\text{mg}$  であった。サルコシン、シスタチオニン、1-メチルヒスチジン、3-メチルヒスチジンは検出されなかった。子実用では、タンパク質構成アミノ酸がすべて検出され、中でもアルギニンが  $59 \pm 21\text{mg}$  で最も多く、次いでグルタミン酸、アスパラギン酸、アラニン、グルタミンの順であった。またタンパク質非構成アミノ酸では  $\gamma$ -アミノ酪酸が  $23 \pm 8\text{mg}$  で最も多く、次いで  $\beta$ -アラニン、 $\alpha$ -アミノアジピン酸であった。サルコシン、 $\alpha$ -アミノ酪酸、シスタチオニン、 $\beta$ -アミノイソ酪酸、1-メチルヒスチジン、3-メチルヒスチジンは検出されなかった。

### 2. 遊離糖・糖アルコール組成

遊離糖・糖アルコールの分析値を Table15 に示した。総遊離糖含量は、野菜用では  $3,175 \pm 1,016\text{mg}$ 、子実用では  $6,204 \pm 3,108\text{mg}$  であった。試料

100g 中の個別の遊離糖含量をみると、野菜用では、スクロースが  $1,846 \pm 1,086\text{mg}$  で最も多く、次いでグルコースが  $1,000 \pm 453\text{mg}$ 、フルクトースの  $329 \pm 75\text{mg}$  の順であった。子実用でもスクロースが  $3,735 \pm 2,842\text{mg}$  で最も多く、次いでグルコースの  $2,170 \pm 959\text{mg}$ 、フルクトースの  $299 \pm 173\text{mg}$  の順であった。

次に、試料 100g 中の個別の糖アルコール含量をみると、野菜用では、ソルビトールがラルシャークのみで  $35\text{mg}$ 、グリセロールが  $77 \pm 16\text{mg}$ 、子実用では、ソルビトールが  $144 \pm 80\text{mg}$ 、グリセロールが  $179 \pm 60\text{mg}$  であった。

### 3. 有機酸組成

有機酸の分析値を Table16 に示した。野菜用では、シュウ酸は  $489 \pm 211\text{mg}$ 、クエン酸は  $80 \pm 56\text{mg}$ 、酒石酸はバイアムを除く6種で検出され  $42 \pm 24\text{mg}$ 、イソクエン酸はバヤム・パイ、アビエビエ、丸葉、柳葉の4種で検出され、 $14 \pm 7\text{mg}$ 、リンゴ酸は丸葉のみで  $152\text{mg}$  であった。子実用では、シュウ酸は  $702 \pm 254\text{mg}$ 、イソクエン酸はナイロビ、農研セ 91-3、K4の3種で検出され  $11 \pm 3\text{mg}$ 、酒石酸は農研セ 91-3 と赤穂の2種で検出され、いずれも  $5\text{mg}$ 、クエン酸はメキシコのみで検出され  $2\text{mg}$  であった。

### 第3項 考 察

野菜用7種の遊離アミノ酸組成の主要なものは、一般的に利用されている野菜についての既報<sup>35, 36, 37)</sup>とほぼ同じであった。

また子実用5種から検出された遊離アミノ酸含量<sup>38)</sup>を、穀類の米<sup>39)</sup>と比較すると、総遊離アミノ酸含量は米の約 22 倍であった。米のタンパク質構成アミノ酸のうち主要なものは、旨味や甘味を呈するグルタミン酸、アスパラギン酸、アラニンであり<sup>40)</sup>、これら3種類が総遊離アミノ酸含量の約 60 %を構成している<sup>39,41)</sup>が、子実用では、その割合は約 19 %に過ぎなかった。しかし、含有量は約



6倍と米をはるかに上回っていた。一方、子実用の総遊離アミノ酸含量の約16%に当たるアルギニンは、苦味を呈する物質であり<sup>40)</sup>、嗜好性の点から言えば、加工利用する場合に考慮する必要があるかもしれない。タンパク質非構成アミノ酸含量は、米は低値を示し、 $\gamma$ -アミノ酪酸も1mg前後<sup>41)</sup>に対し、子実用では米の約32倍であった。

ホウレンソウ、小松菜、青梗菜をはじめとする中国野菜7種、計9種の葉菜類の生鮮物100g当たりの総遊離糖含量は $675 \pm 335\text{mg}$ で、スクロース $193 \pm 232\text{mg}$ 、グルコース $289 \pm 167\text{mg}$ 、フルクトース $193 \pm 137\text{mg}$ である<sup>37,42)</sup>が、これらの数値と今回分析に用いた野菜用7種の遊離糖含量<sup>38)</sup>を生鮮物100g当たりに換算して比較すると、総遊離糖含量は0.7倍、グルコースは0.5倍、フルクトースは0.2倍とそれぞれ低値であったが、スクロースは1.4倍とやや高い値であった。子実用では、米のスクロース $242 \sim 1,220\text{mg}$ 、グルコース $7 \sim 42\text{mg}$ <sup>43)</sup>、ライ小麦のスクロース $479\text{mg}$ 、グルコース $60\text{mg}$ 、フルクトース $73\text{mg}$ <sup>17)</sup>、六条大麦のスクロース $840 \sim 1,170\text{mg}$ 、グルコースとフルクトースで $250\text{mg}$ 前後<sup>44)</sup>、ヒエのグルコース $1,798\text{mg}$ <sup>17)</sup>に比べ、遊離糖をかなり多く含む食品であり、呈味に関係すると考えられる。よって、この特性を生かした利用法を今後検討したい。

ホウレンソウのシュウ酸含量は、年間を通して生鮮物100g当たり $600 \sim 1,000\text{mg}$ <sup>45,46,47)</sup>であるが、今回分析に用いた野菜用7種のシュウ酸含量<sup>38)</sup>は、乾物基準換算100g当たりの含量で $253 \sim 787\text{mg}$ 程度で、生鮮物100g当たりでは約 $36 \sim 113\text{mg}$ となる。この結果は、Singhal R.S.らの報告<sup>20)</sup>にある青菜類の平均値、乾物基準換算100g当たり $470\text{mg}$ とほぼ一致していた。

また Iris Ruhlら<sup>48)</sup>は、19種の野菜類についてシュウ酸を除く6種の有機酸を測定しているが、生鮮物100g当たりのクエン酸は $85 \pm 81\text{mg}$ 、酒石酸はレタス、ニンジン、セロリ等の6種につき分析され、 $6 \pm 3\text{mg}$ である。これら

の数値と今回分析に用いた野菜用7種の酒石酸とクエン酸含量<sup>38)</sup>を生鮮物100g 当たりに換算して比較すると、野菜用では酒石酸含量がほぼ等しく、クエン酸は0.14倍と低値であった。

子実用5種のシュウ酸含量<sup>38)</sup>は、Singhal R.S.<sup>49)</sup>や Prakash D.の報告<sup>19)</sup>とほぼ一致した。

野菜用アマランサスは、呈味に関係すると考えられる遊離アミノ酸や遊離糖を他の葉菜類と同程度含有し、その上シュウ酸含量が少ないため、調理に利用しやすく、摂取しやすい。

子実用アマランサスは、タンパク質を豊富に含み、なかでもリジン含有量が高い、また呈味に関係する遊離アミノ酸も豊富であることから穀類粉の代用としての利用価値が高いと考えられる。更に、遊離糖も多量に含有することから、その利用も十分に考えられる。

#### 第4項 要 約

野菜用7種と子実用5種、計12種の遊離アミノ酸、遊離糖・糖アルコール、有機酸について分析を行った。

1)遊離アミノ酸は、野菜用ではタンパク質構成アミノ酸18種、タンパク質非構成アミノ酸7種、子実用ではタンパク質構成アミノ酸20種、タンパク質非構成アミノ酸5種が定量された。

2)総遊離アミノ酸含量は、野菜用では $1,244 \pm 195\text{mg}$ 、子実用では $375 \pm 85\text{mg}$ であり、両者とも、その90%はタンパク質構成アミノ酸であった。

3)主なタンパク質構成アミノ酸は、アラニン、グルタミン酸、アスパラギン酸、セリン、グルタミン、プロリン、アスパラギンであり、一般的に利用されている葉菜類とほぼ同じであった。

4)タンパク質非構成アミノ酸では $\gamma$ -アミノ酪酸が最も多く、野菜用では

80 ± 76mg、子実用では 23 ± 8mg であった。

5)総遊離糖含量は、野菜用では 3,175 ± 1,016mg、子実用では 6,204 ± 3,108mg であった。野菜用ではグルコース 1,000 ± 453mg、フルクトース 329 ± 75mg、スクロース 1,846 ± 1,086mg、子実用ではグルコース 2,170 ± 959mg、フルクトース 299 ± 173mg、スクロース 3,735 ± 2,842mg であった。

糖アルコール含量は、野菜用ではグリセロール 77 ± 16mg、子実用ではソルビトール 144 ± 80mg、グリセロール 179 ± 60mg であった。

6)シュウ酸含量は、野菜用では、489 ± 211mg、子実用では 702 ± 254mg であった。

## 第4章 食用アマランサスの抗酸化能

### 第1節 食用アマランサスの抗酸化能

食用植物の抗酸化性の報告は、能勢ら<sup>50)</sup>が野菜や香辛菜について、内藤ら<sup>51)</sup>がネギ類植物について、斉藤<sup>52)</sup>平原ら<sup>53)</sup>が香辛料について、そして春日ら<sup>54,55)</sup>が山菜、野草などについて報告しているが、食用アマランサスの抗酸化性の報告はほとんどみあたらない。そこで、食用アマランサスが抗酸化能を有するか否かのスクリーニングを行うこととした。

また抗酸化効果が認められた試料については、溶媒による抽出性を測定することによって活性成分のプロフィールを明らかにすることを本節の目的とした。

## 第1項 実験方法

### 1. 試料および調製法

試料および調製法は、第2章第1項 1.と同様とした。

### 2. 試薬

抗酸化能測定のためのリノール酸メチルは、東京化成工業(株)の一級品、リノール酸は和光純薬(株)製を使用した。

### 3. 抗酸化能のスクリーニング

試料粉末1gに20mlのエタノールを加え、一晚室温にて放置後、5,000rpmで15分遠心分離し、その上澄液を抽出液とした。能勢<sup>50)</sup>、春日ら<sup>54,55)</sup>の方法に従い、小試験管に取ったリノール酸メチル100 $\mu$ lに、この抽出液50 $\mu$ lを加え、50 $^{\circ}$ Cで25時間反応後、Lea法の改良法<sup>50,56)</sup>により過酸化物価(POV)を測定した。すなわち、リノール酸メチルにクロロホルム-酢酸混液を加えて溶解させ、ヨウ化カリウム溶液を加え、過酸化物により定量的に遊離されたヨウ素を、デンプン指示薬により呈色させ、チオ硫酸ナトリウムを用いて滴定する方法である。抗酸化の判定は、抽出液添加区のPOV(POV<sub>s</sub>)と、抽出液に代えてエタノールを添加したコントロール区のPOV(POV<sub>c</sub>)の比を求めることにより行った。

### 4. 抗酸化成分の抽出性

#### (1) 試料溶液の調製<sup>54)</sup>

エーテル抽出: 試料1gをソックスレーの抽出器を用いてジエチルエーテルで20時間抽出し、抽出液の全量を20mlとした。

エタノール抽出: 試料1gにエタノール30mlを加えてホモジナイズし、一晚冷蔵にて放置後、ろ過し、ろ液を得た。抽出残渣は更に同様の方法で1回抽出し、ろ液を合わせた後濃縮し、全量を20mlとした。

水抽出: 試料1gに水20mlを加え、沸騰水浴上で30分間加熱還流後、ろ

過し、ろ液を得た。抽出残渣は更に同様の方法で1回抽出し、ろ液を合わせた後濃縮し、全量を20mlとした。

## (2) 抗酸化力の測定<sup>54)</sup>

試料溶液4 mlに0.1 Mリノール酸エタノール溶液20mlと、pH7.0、0.1 Mリン酸緩衝液20mlを加え、水で50mlとし、抗酸化力測定の反応液とした。この反応液を100ml容共栓付褐色広口瓶に移し、40℃のインキュベーターに遮光保存した。ブランクとして、基質溶媒のエタノール20mlに、pH7.0、0.1 Mリン酸緩衝液20mlを加え、水で50mlとしたもの、また、コントロールとして試料抽出溶媒を抽出液の代わりに添加したものを、同条件下に保存した。保存期間中、約4日間ごとに、この反応液より0.1mlを分取し、ロダン鉄法<sup>57)</sup>によりPOVを測定した。また0.5mlを分取し、Griewhan法<sup>58)</sup>によりTBA価を測定した。

## 第2項 結果

### 1. 食用アマランサスの抗酸化能

リノール酸メチル1 mlあたり、乾燥試料0.025 g相当量のエタノール抽出物を加えて行った抗酸化能スクリーニングの結果をTable17に示した。試料抽出液添加区の過酸化物価( $POV_s$ )とコントロール区の過酸化物価( $POV_c$ )の比は、 $POV_s/POV_c$ によって抗酸化効果を4段階に区分けした。すなわち、最も抗酸化活性の強いものを+++： $0 \leq POV_s/POV_c < 0.2$ 、抗酸化活性の強いものを++： $0.2 \leq POV_s/POV_c < 0.4$ 、抗酸化活性の弱いものを+： $0.4 \leq POV_s/POV_c < 0.7$ 、抗酸化活性のないものを-： $0.7 \leq POV_s/POV_c$ とした。

このスクリーニングの結果、試験した食用アマランサスのエタノール抽出液は、リノール酸メチルのPOVの上昇を抑制する効果を15部位が有しているこ

とを示した。そして、その効果はすべてPOV<sub>s</sub>/POV<sub>c</sub>が+++であり、かなり強い抗酸化能の存在が示唆された。そこでこれら 15 部位について、さらに詳細にその抗酸化能を検討した。

## 2. 抗酸化成分の抽出性

上記のスクリーニングでは、エタノール抽出液の油系における抗酸化効果を検討したが、ここでは、これらの試料がエマルジョン系においても同様の効果が認められるか、エタノール抽出以外にエーテル、水抽出も行い、抗酸化成分の溶媒への抽出性を調べることにした。Fig.1~6は、リノール酸を基質としたエマルジョン系の反応液に、各々の試料のエーテル、エタノール、水抽出物を添加し、100 日間にわたり、そのPOVとTBA価の経日変化を測定した結果である。なお、抽出液の添加量は乾燥試料として反応液の 0.4 %相当量である。

エーテル、エタノール、水抽出液のすべてがPOV、TBA価とも 100 日経過しても吸光度 1.0 以下を示すものは見あたらなかった。アビエビエ、柳葉、赤穂の茎葉は、水抽出液添加区とエタノール抽出液添加区で、POV、TBA価とも 100 日経過しても吸光度 0.6 以下であり、非常に強い抗酸化効果を示した。ナイロビ、農研セ 91-3、K4の各茎葉は、水抽出液添加区とエーテル抽出液添加区で、POV、TBA価とも 100 日経過しても吸光度 1.0 以下であり、強い抗酸化効果を示した。丸葉とバイアムは、エーテル抽出液添加区で、バヤム・エム とメキシコの茎葉は、エタノール抽出液添加区で、強い抗酸化効果を示した。エーテル、エタノール、水抽出液添加区それぞれの抗酸化能を比較すると、水抽出液添加区の抗酸化能が最も強く、次にエタノール抽出液添加区が強い抗酸化能を示した。

## 第3項 考 察



能勢ら<sup>50)</sup>春日ら<sup>54,55)</sup>が植物性食品の抗酸化能検索に用いた方法は、検索方法として、簡便で比較的迅速に測定できることから、数多い試料の抗酸化能のスクリーニングに適當であると考え、用いることとした。

今回のスクリーニングは、使用した抽出溶媒がエタノールのみであったので、本スクリーニングで抗酸化能が検出されていないものも多いと考えられる。

エマルジョン系における抗酸化性は、いずれの試料もコントロールより強い効果を示した。個々の試料の活性成分のエーテル、エタノール、水の3溶媒に対する抽出性には異なった挙動がみられ、溶媒の極性の弱いエーテルと極性の強い水の両方で、強い抗酸化効果を示した試料と、溶媒の極性が増すにつれて強い抗酸化効果を示した試料に分かれた。油溶性の抗酸化成分にはトコフェロール類、水溶性の抗酸化成分には、フラボノイド化合物、ポリフェノール類などや芳香族アミン類などが考えられる。食用アマランサスの抗酸化性成分については、明らかではなく、これからの検討課題と考える。

#### 第4項 要 約

食用アマランサス 12 種、17 部位のエタノール抽出物をリノール酸メチルを基質とした油系において抗酸化能スクリーニングを行ったところ、15 部位(ラルシャーク、バヤム・エム、バヤム・パイ、アビエビエ、丸葉、柳葉、バイアムと、メキシコ、ナイロビ、農研セ 91-3、K4、赤穂の各茎葉とメキシコ、ナイロビ、K4 の各子実)に非常に強い抗酸化効果が認められた。

スクリーニングにおいて効果が認められた試料は、エマルジョン系においても効果が認められた。また、個々の試料の活性成分の溶媒に対する抽出性には異なった挙動がみられたが、多くは溶媒の極性が増すと非常に強い効果を示した。

## 第2節 食用アマランサスの抗酸化成分の肉団子調製・保存における抗酸化効果

前節では、新しい抗酸化成分を検索することを目的として食用アマランサスに注目し、45種の抽出物の抗酸化性について検討を試みた。その結果、16種に強い抗酸化性が認められた。

そこで本節では、津田らの実験方法<sup>59,60)</sup>を参考に、13種の食用アマランサス抽出物に対して抗酸化性を再確認すると共に、天然抗酸化剤であるクエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールとの相乗効果、食用アマランサス抽出物の熱や pH に対する安定性について試験し、強い抗酸化効果が認められた試料については、肉団子調製時に抽出物を添加し、保存中の抗酸化性を油脂の変敗度を指標として検討した。

### 第1項 実験方法

#### 1. 試料および調製法

試料は、第3章第1項 1.で用いたうちのバヤム・エム、アビエビエ、柳葉、バ IAM と、メキシコ、ナイロビ、農研セ91-3、K4の各茎葉、計8種である。

なお、試料の調製は、第2章第1項 1.と同様の方法で行った

##### (1)抽出物の調製

水抽出：試料(アビエビエ、柳葉、ナイロビとK4の茎葉) 15g に水 400ml を加えてホモジナイズし、100℃の湯浴上で30分間加熱還流後、ろ過し、ろ液を得た。抽出残渣は更に水 200ml を加え同様の方法で1回抽出し、ろ液を合わせて濃縮後、全量を 100ml とした。

エタノール抽出<sup>60)</sup>：試料(バヤム・エム、アビエビエ、柳葉、バ IAM、メキシコの茎葉) 15g に 99.5%エタノール 250ml を加えてホモジナイズし、一晚冷蔵にて放置後、ろ過し、ろ液を得た。抽出残渣は更に 99.5%エタノール

125mlを加え同様の方法で1回抽出し、ろ液を合わせて濃縮後、全量を100mlとした。

エーテル抽出: 試料(バイアムとナイロピ、農研セ 91-3、K4それぞれの茎葉) 15g にジエチルエーテル 250ml を加えてホモジナイズし、一晚冷蔵にて放置後、ろ過し、ろ液を得た。抽出残渣は更にジエチルエーテル 125ml を加え同様の方法で1回抽出し、ろ液を合わせた。ろ液中のジエチルエーテルは、ソックスレー抽出器にて回収し、抽出物は濃縮乾固後、99.5%エタノールに溶解して全量を100mlとした。

## (2)肉団子の調製

肉団子の配合割合は、内藤らの方法<sup>51)</sup>を参考に豚ロースのミンチ 150g、馬鈴薯澱粉 25g、鶏卵 20g、蒸留水 5g を基本配合とし1個 20g の肉団子を調製した。材料はいずれも市販品を用い、アマランサス抽出液を添加する場合は、蒸留水と代替えした。保存条件は2℃とし、加熱条件はガス高速レンジコンベック(リンナイ㈱ RCK-10E-10、消費電力 90W)で 200℃2分間、次いで 180℃5分間加熱した。

## 2. 試薬

抗酸化能測定のためのリノール酸は和光純薬㈱製を使用した。

## 3. 抗酸化力の測定

### (1)抗酸化能のスクリーニング<sup>60)</sup>

リノール酸を基質としたモデル系(以後リノール酸モデル系とする)を用いて検討した。標準反応液は、リノール酸 0.13ml、pH7.0、50mMリン酸緩衝液 10ml、99.5%エタノール 10mlを混合した溶液に、蒸留水を加えて 25mlとした。アマランサス抽出液添加の反応液は、抽出液の添加量が乾燥試料として反応液のそれぞれ 0.1,0.2,0.4,0.6,0.8%混合されるように、蒸留水または 99.5%エタノールと代替えして添加した。これらの反応液は、共栓付 100ml

容褐色広口瓶に移し、40℃のインキュベーターに遮光保存した。保存期間中、1日おきに酸化の度合いをロダン鉄法<sup>57)</sup>によりPOVを、Griewhan法<sup>58)</sup>によりTBA価を測定した。

#### (2)クエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールとの相乗効果<sup>60)</sup>

(1)の抗酸化能のスクリーニングの結果、特に強い抗酸化効果を示したアマランサス抽出液7種について、リノール酸モデル系において、アマランサス抽出液とクエン酸または $\alpha$ -トコフェロールを混合し、これらの相乗効果を測定した。リノール酸モデル系への食用アマランサス抽出液の添加量は、乾燥試料として反応液のそれぞれ0.1,0.2,0.4%とし、クエン酸は40 $\mu$ /mlを0.5ml(0.08%に相当)、 $\alpha$ -トコフェロールは20 $\mu$ /mlを0.5ml(0.04%に相当)、いずれも蒸留水または99.5%エタノールと代替えて添加した。

#### (3)アマランサス抽出物の熱安定性<sup>60)</sup>

リノール酸モデル系に、(2)と同様のアマランサス抽出液を加熱処理して添加し、反応液を調製した。アマランサス抽出液は、沸騰水浴中に0,30,90,120分間保持し、各保持時間後直ちに氷冷したもので、抽出液の添加量は、乾燥試料として反応液のそれぞれ0.1,0.2,0.4%とし、いずれも蒸留水または99.5%エタノールと代替えて添加した。結果は、未加熱試料の抗酸化性を100%とした時の各熱処理試料の抗酸化性で表した。

#### (4)アマランサス抽出物のpH安定性<sup>60)</sup>

リノール酸モデル系に、(2)と同様のアマランサス抽出液を各pH緩衝液10mlに溶解して加熱処理したものを添加し、反応液を調製した。pH緩衝液は、pH3.0とpH5.0の50mM酢酸緩衝液、pH7.0の50mMリン酸緩衝液、pH9.0の50mMグリシン緩衝液を用い、沸騰水浴中に120分間保持し、直ちに氷冷したもので、抽出液の添加量は、乾燥試料として反応液のそれぞれ0.1,0.2,0.4%とし、いずれも蒸留水または99.5%エタノールと代替えて添加

した。結果は、pH7.0の未加熱試料の抗酸化性を100%とした時の各熱処理試料の抗酸化性で表した。

なお、(2)(3)(4)の反応液の保存方法と抗酸化力の測定方法は、(1)と同様にした。

#### (5)肉団子の油脂の変敗度測定

##### 1)脂質の抽出および測定

各肉団子の脂質の抽出は Chloroform - Methanol 混液 (CM 混液) 改良抽出法<sup>61)</sup>に従った。

##### 2)油脂の変敗度測定

油脂の変敗度は、Lea 法の改良法<sup>50,56)</sup>により、過酸化価(POV)を測定した。

## 第2項 結果

### 1. アマランサス抽出物の抗酸化性

アマランサス抽出物のリノール酸モデル系における、ロダン鉄法を用いた抗酸化試験で、特に強い抗酸化効果を示した7種だけを Fig.7に示した。結果は、測定期間中7日目にコントロールの吸光度がほぼ最大になったので、この時のコントロールの吸光度を100とし、アマランサス抽出物添加時の脂質の過酸化度を示した。水抽出物では、アビエビエ 0.2%添加が16、柳葉 0.2%添加が18、ナイロビ茎葉 0.4%添加が1、エタノール抽出物では、バヤム・エム 0.2%添加が28、アビエビエ 0.1%添加が40、エーテル抽出物では、バイアム 0.2%添加が18、ナイロビ茎葉 0.1%添加が19を示した。

### 2. クエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールとの相乗効果

リノール酸モデル系における、アマランサス抽出物とクエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールとの相乗効果についてのロダン鉄法による測定結果を Fig.8に示した。



クエン酸とは、アビエビエと柳葉の水抽出物が相乗効果を示し、 $\alpha$ -トコフェロールとは、アビエビエと柳葉の水抽出物、アビエビエのエタノール抽出物が相乗効果を示した。

### 3. アマランサス抽出物の熱安定性

アマランサス抽出物の抗酸化性の熱安定性について、ロダン鉄法による測定結果を Fig.9 に示した。アビエビエと柳葉の水抽出物は、加熱時間に関係なくほぼ同様の抗酸化性を示した。バヤム・エム、アビエビエのエタノール抽出物と、バイアム、ナイロビ茎葉のエーテル抽出物は、加熱時間の延長に伴い、抗酸化性が上昇する傾向を示した。しかし、ナイロビ茎葉の水抽出物の抗酸化性は、急激に低下した。

### 4. アマランサス抽出物の pH 安定性

アマランサス抽出物の各 pH における抗酸化力の安定性について、ロダン鉄法による測定結果を Fig.10 に示した。アビエビエと柳葉の水抽出物は、塩基性では抗酸化性がやや低下したが、その他の条件下では強い抗酸化性を示した。ナイロビ茎葉の水抽出物は、いずれの条件下でも特に強い抗酸化性を示した。

### 5. 肉団子の油脂の変敗度

肉団子調製時にアビエビエ、柳葉、ナイロビ茎葉の水抽出物、アビエビエ、柳葉の水抽出物にクエン酸を、アビエビエ、柳葉の水抽出物と、アビエビエのエタノール抽出物に  $\alpha$ -トコフェロールを混合したものを添加し、加熱処理した肉団子計8種をコントロールと比較検討した。クエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールの使用濃度は、第1項の 3.の(2)と同様とした。これらの保存期間中の POV の変化を Fig.11 に示した。保存開始から2週間が経過すると、肉団子の変敗度にわずかな差が生じ始め、コントロールとナイロビ茎葉の水抽出物を添加した肉団子は、27日以降急激に POV が上昇した。しかし、アビエビエ、柳葉の水抽



出物を添加した肉団子の POV は緩やかな上昇にとどまり、アビエビエや柳葉の水抽出物にクエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールを混合して添加した肉団子では、更に POV の変化は少なかった。なかでも柳葉の水抽出物にクエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールを添加した肉団子は、40 日経過後で 20mgeq/kg 以下を示し、強い抗酸化力を示した。

### 第3項 考 察

アマランサス抽出物の抗酸化性は、TBA 価においても同様の結果を示した。しかし、津田らの行ったタマリンド種皮抽出物の抗酸化性の実験<sup>60)</sup>のように、抽出物の濃度に依存して抗酸化性が強くなる傾向は、見られなかった。

本節では、アマランサス抽出物の抗酸化性を、最終的に食品加工へ利用するための基礎的知見を得ることを目的とした。そこでアマランサス抽出物が、他の抗酸化性物質と相乗効果を示すかどうかについて検討した。その結果、アビエビエと柳葉の水抽出物は、リノール酸モデル系において、クエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールとの相乗効果を示し、肉団子への添加試験においても抗酸化効果を認めた。クエン酸は、一般に脂質過酸化を促進する金属イオンを封鎖することにより抗酸化性を発現するが、特にフェノール性の抗酸化性物質との間に著しい抗酸化相乗効果を示すことが知られている<sup>62)</sup>。従って、アビエビエと柳葉の水抽出物中には、フェノール性物質が含まれている可能性は高いと考えられる。

アビエビエと柳葉の水抽出物は、その他の条件下においても比較的安定な抗酸化性を示したことから、天然抗酸化性物質として食品加工への応用が十分可能と考えられる。

### 第4項 要 約

1)抗酸化力試験において、強い抗酸化性を示したものは、アビエビエ、柳葉、ナイロビ茎葉の水抽出物、バヤム・エムとアビエビエのエタノール抽出物、バイアムとナイロビ茎葉のエーテル抽出物の7種であった。

2)クエン酸と相乗効果を示したものは、アビエビエと柳葉の水抽出物であり、 $\alpha$ -トコフェロールと相乗効果を示したものは、アビエビエと柳葉の水抽出物とアビエビエのエタノール抽出物であった。

3)100℃ 120分までの加熱に対して安定性を示したものは、ナイロビ茎葉の水抽出物を除く6種であった。

4)pH に対する安定性では、アビエビエ、柳葉、ナイロビ茎葉の水抽出物が安定性を示し、なかでもナイロビ茎葉の水抽出物は、いずれの pH においても非常に強い安定性を示した。

5)肉団子の酸化安定性には、アビエビエと柳葉の水抽出物が効果を示し、クエン酸や $\alpha$ -トコフェロールとの混合では、基礎実験の結果と同様な相乗効果を示し、保存期間の延長をもたらした。

### 第3節 油脂の自動酸化に対する安定性試験，暫定オープン試験

油脂類の自動酸化に対する安定性を評価する簡便な方法として重量法<sup>63)</sup>がある。この方法は、試料を規定の方法に基づき試験した場合の重量増加率が0.5%に達するまでの時間または日数を測定する方法である。

そこで、第2節で強い抗酸化性を示した試料について、この方法を用いて安定性を測定した。

#### 第1項 実験方法

##### 1. 試料

試料は、酸化防止剤無添加の豚脂と第4章第2節第1項 1.(1)で調製したア

ビエビエ、柳葉、ナイロビ茎葉の水抽出物、バヤム・エムとアビエビエのエタノール抽出物、バイアムとナイロビ茎葉のエーテル抽出物の計7種である。

## 2. 試薬

豚脂に各抽出物を添加し、エマルジョンを形成させるために、乳化剤としてICI社 Tween20 (ポリオキシエチレン(20)ソルビタンモノラウレート)を使用した。

## 3. 測定方法<sup>65)</sup>

酸化防止剤無添加の豚脂を約40℃で溶解し、これに乳化剤はラードの0.5%、アマランサス抽出物は、ナイロビ茎葉の水抽出液は、乾燥試料として豚脂の0.4%、その他の抽出液は、乾燥試料として豚脂の0.2%添加し、ホモジナイズした。これらを $1 \pm 0.01\text{g}$ を目安に、各3個の内径45mm、蓋付きガラスシャーレに精秤し、 $60 \pm 1^\circ\text{C}$ の電気恒温器に蓋をして保存し、1日1回取り出してデシケター中で30分放冷した後、重量を測定し、3個の重量増加率の平均値を求めた。

## 第2項 結果

Table 18 に重量増加率が0.5%に達するまでの経過を示した。ナイロビ茎葉の水抽出物は、100日経過しても重量増加率が0.5%に達せず、非常に強い抗酸化性を示した。それに対し、コントロールは4日、その他の抽出物も4日または5日と短く、自動酸化に対する安定性は、期待できなかった。

## 第3項 考察

重量法試験は、Olcottら<sup>63)</sup>によって始められた方法である。温度は、試料油の不飽和度によって調節し、魚油などのような高度不飽和酸を含有する油脂では、30～40℃の低温で行う。この実験方法は、簡便故にシャーレの洗

浄、恒量、試料調製時のホモジナイズの有無、恒温器の精度により、同一試料間にバラツキが生じやすいといわれているが<sup>63,64)</sup>、実験を繰り返すことにより、バラツキの原因は解消された。なお、コントロールとして、豚脂に乳化剤添加と無添加の両方を用いたが、乳化剤による影響は見られなかった。

また、豚脂の自動酸化に対して、ナイロビ茎葉の水抽出物だけが、非常に強い抗酸化性を示した要因は、今後の検討課題としたい。

#### 第4項 要 約

油脂の自動酸化に対する安定性試験により、アマランサス抽出物の、豚脂の自動酸化に対する抗酸化性を検討した。

その結果、ナイロビ茎葉の水抽出物が、豚脂の自動酸化に対して、非常に強い抗酸化性を示した。

#### 第4節 DPPH(1,1-ジフェニル-2-ピクリルヒドラジール)を用いたラジカル捕捉活性試験

##### 第1項 実験方法

###### 1. 試料

試料は、第4章第2節第1項 1.(1)で調製した抽出液を 0.45  $\mu\text{m}$ のフィルターでろ過し、試料溶液とした。

###### 2. 試薬

抗酸化剤として、Aldrich Chem.(株) Trolox を使用した。

###### 3. 測定方法<sup>66)</sup>

0.5mMDPPH エタノール溶液 1ml に、pH7.4、100mMTris-HCl 緩衝液 800  $\mu\text{l}$  と 500  $\mu\text{M}$ Trolox エタノール溶液または試料溶液を 200  $\mu\text{l}$  を加えて混和後、室温で暗所にて 20 分間反応させた。分析は、高速液体クロマトグラ

フを使用し、送液ポンプに日立 L-6,300、検出器に日立 L-4,250 を用いた。測定条件は、カラムに日立 L-5,025 (C8 4.6mm φ × 150mm) を用い、カラム温度 20℃、流速 1.0ml/min、移動相は、70%メタノール溶液で分析した。検出は 517nm、DPPH の保持時間は 8.5 分であり、データ処理はクロマトデータ処理 (日立 D-2,500) で行った。

## 第2項 結果

Fig.12 に、コントロールを 100 とした場合のラジカル捕捉活性を示した。アマランサス抽出物は、エタノール抽出物を除く8種にラジカル捕捉活性を認め、Trolox が 51 に対して、水抽出物ではアビエビエが 7、柳葉が 18、ナイロビとK4の各茎葉が 29 と 16、エーテル抽出物ではバイアムが 39、農研セ91-3、K4、ナイロビの各茎葉がそれぞれ 29、41、49 であった。

## 第3項 考察

ラジカル反応は、連鎖反応であり、これを防止するには連鎖を切断するための抗酸化性物質、いわゆるラジカル捕捉活性を有する物質の共存が望ましい。ラジカル捕捉活性は、グローブ、オールスパイス等 15 種類のスパイスや加熱処理された野菜類に見られる<sup>67)</sup>。アマランサス抽出物の加熱処理、pH の調製、調理過程での影響については今後の検討課題と考える。

## 第4項 要約

アマランサス抽出物のラジカル捕捉活性は、非常に強く、水抽出物のアビエビエ、柳葉、ナイロビと K4 の茎葉の4種と、エーテル抽出物のバイアムとナイロビ、農研セ91-3、K4 の各茎葉の4種、計8種に認められた。

## 第5章 アマランサス子実デンプンの成分組成と調理性の比較

### 第1節 アマランサス子実デンプンの性状

アマランサスは栄養価に富むC4植物で、生産力も高いことから、1975年頃から注目されてきた食品素材である<sup>1)</sup>。実際にクッキー<sup>68)</sup>、スパゲティ<sup>22)</sup>、離乳食<sup>69)</sup>などの加工食品に利用されたり、各種穀粉に添加し栄養強化を図ったりしている<sup>70,71,72)</sup>。食品加工素材として利用する場合、その適性には様々な要因が関わってくるが、その内重要な成分の一つがデンプンの性質である。デンプンは穀類や芋類の細胞から取り出される単独の粒子であり、原料の種類や起源、生育過程により粒形や大きさ、理化学的性質が異なる<sup>73)</sup>。そのため、デンプンの性質によって加工の利用目的も変わってくる。アマランサスデンプンについての報告は、デンプンの分離と特性に関する研究<sup>74)</sup>、デンプンの糊化に関する研究<sup>75)</sup>、デンプンにCMCを配合した時の機能性の研究<sup>76)</sup>、架橋結合したデンプンの研究<sup>77)</sup>などがあるが、十分な研究は行われていない。また国産のアマランサスデンプンについての報告例はほとんどない。

そこで本章第1節では、国内産アマランサス子実デンプンの性質について研究し、第2節では、子実用アマランサス全粒粉を用いてビスケットを調製し、物性測定と並行して官能検査を行い、子実用アマランサスの食品加工分野における有効利用を検討することとした。

### 第1項 実験方法

#### 1. 試料および調製法

試料は、子実用アマランサスのメキシコ、ナイロビ、農研セ 91-3、K4、赤穂



の5種で、試料の調製は、第2章第1項 1.と同様とした。

## 2. デンプンの分離

デンプンの分離は、JINGAN ZHAOら<sup>78)</sup>の方法に準じて分離し、試料となるデンプンを得た。すなわち、アマランサス全粒粉 100g に 0.25 % NaOH 溶液 600ml を加えてミキサー (25 °C 6分) にかけて、200 メッシュの篩を通し、残渣を蒸留水で洗浄し、ろ液と合わせた。ろ液を遠心分離 (1,200rpm 6分) し、分離された上澄液を更に遠心分離 (2,200rpm 11分) した。この時生じた上澄液は捨て、デンプンの固まりの表面にある濁った溶液を少量の水で洗った後、600ml の蒸留水を加えて、再度遠心分離 (2,200rpm 21分) した。沈殿物の中からデンプンの白い層を取り出し、45 ~ 50 °C で一晚乾燥した後粉碎し、試料となるデンプンを得た。

## 3. 分析および測定方法

### (1) デンプンの定量

デンプンの定量は、加水分解後、ソモギー・ネルソン法<sup>61)</sup>により定量されたブドウ糖量に、0.9 を乗じてデンプン量とした。

### (2) デンプンの形状および面積

デンプンは、白金パラジウムで蒸着後、走査型電子顕微鏡 (SEM) 日立 S-570 で 20KV、5,000 倍にて観察撮影した<sup>78)</sup>。これらの写真を用いて、各デンプン粒子の大きさを、7粒を平均して求めた。

### (3) デンプンの色

デンプンの色は、デジタルカラーメーター (東京電色㈱、TC-3,600) を用いて、透過色測定で明度、赤味度、黄味度を測定した。次にこれらの数値から、2つの試料間の距離である色差を求めた。

### (4) デンプンの一般成分

一般成分は、四訂食品成分表<sup>8)</sup>策定に用いられた分析法に準じて測定し

た。

① 水分:常圧 135℃恒量乾燥法を用いた。

② タンパク質:マクロ改良ケルダール法

タンパク質量は、定量した全窒素量に、窒素-タンパク質換算係数 6.25 を乗じて算出した。

③ 脂質:酸分解法を用いた

④ 灰分:常法通り 550℃で残存炭素が無くなるまで灰化し、恒量を求めた。

⑤ 糖質:タンパク質、脂質、灰分の合計量を 100g から差し引いて示した。

#### (5)デンプンの構成比率

アミロースとアミロペクチンの比率は、ヨウ素呈色比色法<sup>79)</sup>および青価<sup>80)</sup>により求めた。なお、ヨウ素呈色比色法の検量線は、C4植物に属するトウモロコシのアミロースとアミロペクチンの試薬デンプン(和光純薬(株)製)を用いて作成した。

#### (6)デンプンの連続式粘度変化

デンプンの連続式粘度変化の測定<sup>79)</sup>には、ブラベンダー社のアミログラフ(ビスコグラフ)を用いて測定した。

測定濃度は6%を基本とし、あらかじめ 25℃にしておいた蒸留水 500ml を加えデンプンが無水物で6%になるように加えてデンプン乳をつくり、そのなかから 500ml を外筒に入れる。25℃から 45 分間、すなわち 92.5℃まで昇温し、92.5℃に 10 分保持してから、冷水を通して 25℃まで冷却してアミログラムを得た。

#### (7)デンプンの膨潤度

膨潤度は、遠藤ら<sup>81)</sup>の方法に準じた。すなわち、試料 1.0g (無水物換算)

(S)を精秤し、50mlの遠沈管に採取し、水40mlに懸濁後、62℃、72℃、82℃、93℃それぞれの所定温度の恒温槽で30分間攪拌加熱した。次いで、遠心分離(2,000×g、20分)し、残渣の重量(B)を測定した。上澄液を65℃で一晩蒸発乾固し、105℃で5時間乾燥後、デシケーターで1時間放冷した固形物(A)を測定した。膨潤度は次式により計算した。

$$\text{膨潤度} = B / (S - A)$$

A: 溶解部分固形物重量(g)、

B: 残渣部分重量(g)、

S: 試料固形物重量(g)

#### (8)デンプンの物性特性

デンプンの物性特性として、糊化デンプンの時間経過に伴う硬さと付着性について検討するため、不動工業(株)レオメーター(NRM-2010J-CW)を用いて、咀嚼試験にて測定した。測定条件は、レンジ200g、テスト速度2cm/M、スweep速度10cm/M、アダプターの径25.0mm、クリアランス1.2mmとした。デンプン濃度は、メキシコ、ナイロビ、農研セ91-3、赤穂、コーンスターチ、上新粉は10%、白玉粉は9%、K4は8%とした。試料の糊化デンプンは、(7)において、それぞれのデンプンが最も高い膨潤度を示した温度で調製した後、直径40mm、深さ15mmの小型シャーレに3gずつ秤量し、これらを常温(23℃)と冷蔵(4℃)で保存した。なお測定時間は、0、0.5、1.0、1.5、2.0時間とした。

## 第2項 結果

### 1. デンプンの定量

デンプン含量は、メキシコが50.6%、ナイロビが53.2%、農研セ91-3が51.6%、K4が44.7%、赤穂が49.7%で、平均 $50.0 \pm 2.9\%$ であった。

## 2. デンプンの形状および面積

デンプン粒子の電子顕微鏡写真を Fig.13-1,2 に、デンプンの形状を Table 19 に示した。デンプンの形状は、長径  $1.6 \pm 0.4 \mu\text{m}$ 、短径  $0.7 \pm 0.2 \mu\text{m}$  で、面積は  $2.0 \pm 1.0 \mu\text{m}^2$  であった。

## 3. デンプンの色

デンプンの明度、赤味度、黄味度、および色差を Table20 に示した。メキシコは、白玉粉と同等の白色度であり、ナイロビ、農研セ 91-3、K4、赤穂は、上新粉とほぼ同等の白色度であった。

## 4. デンプンの一般成分

デンプンの一般成分を Table21 に示した。水分は  $7.2 \pm 1.3 \%$  であった。タンパク質と脂質はほとんど差がなく、それぞれの平均は乾物基準換算 100g 当たり、 $0.05 \%$  と  $0.14 \%$  であり、灰分は  $1.38 \pm 0.26 \%$  であった。

## 5. デンプンの構成比率

デンプンのアミロースとアミロペクチンの比率を Table22 に示した。ヨウ素呈色比色法ではいずれの品種もアミロペクチンがアマランサスデンプンの  $90 \%$  以上を占め、モチ種であることがわかった。更に、青価でも確認を行ったところ、吸光度はナイロビの  $0.17$  からメキシコの  $0.21$  で、アミロペクチンの値の範囲と一致した。

## 6. デンプンの連続式粘度変化

デンプンの連続式粘度変化を Table23 に、デンプンのアミログラムを Fig.14 に示した。粘度が上昇し始め 20BU に達する温度は、K4の  $73.0 \text{ }^\circ\text{C}$  からメキシコの  $77.5 \text{ }^\circ\text{C}$  で近似していた。最高粘度に達した時の温度と粘度は、K4は  $79.0 \text{ }^\circ\text{C}$  で 418BU、赤穂は  $81.3 \text{ }^\circ\text{C}$  で 373BU、メキシコは  $92.5 \text{ }^\circ\text{C}$  で 225BU、農研セ 91-3 は  $82.8 \text{ }^\circ\text{C}$  で 215BU、ナイロビは  $81.3 \text{ }^\circ\text{C}$  で 190BU であった。ブレイクダウンは、K4が 148BU、赤穂が 118BU、農研セ 91-3 が

50BU、ナイロビが 35BU、メキシコは 0BU であった。そして冷却時の粘度はいずれも増加し、赤穂が 163BU、K4が 130BU、農研セ91-3 が 65BU、ナイロビが 53BU、メキシコが 43BU であった。

#### 7. デンプンの膨潤度

デンプンの膨潤度を Table24 に示した。膨潤度の最高値とその時の温度は、メキシコが 10.5 で 82℃、ナイロビが 12.9 で 82℃、農研セ91-3 が 13.0 で 93℃、K4が 19.0 で 82℃、赤穂 19.0 で 93℃であった。

#### 8. デンプンの物性特性

糊化デンプンの時間経過に伴う硬さと付着性の変化を Fig.15-1,2 に示した。常温保存での硬さは、メキシコとナイロビが 90g 前後を、K4が 60 g前後を、農研セ91-3 と赤穂が 25 g前後を維持し、冷蔵保存では、K4と赤穂が 50 g前後を、その他の3種は 20 g前後を維持した。常温保存での付着性は、ナイロビとK4が 250erg を、メキシコと赤穂が 160erg 前後を、農研セ91-3 が 100erg 前後を維持し、冷蔵保存では、K4と赤穂が 220erg 前後を、その他の3種が 90erg 前後を維持した。

### 第3項 考察

Rita A. Teutonico らの報告<sup>31)</sup>によると、淡黄色の品種のデンプン含量は、*A. cruentus* の約 48% から *A. hypochondriacus* の約 62% であった。分析結果は、やや低値を示したが、この原因としては収穫時期の子実の熟度に関係があると考えられ、収穫時期の延期により、両品種のデンプン含量が増加する可能性があると考えられる。デンプン粒子の大きさは、品種間に差がみられ、*A. caudatus* のデンプン粒子は、*A. hypochondriacus* の 2.5 倍の大きさであった。

一般成分は、それぞれの平均値を四訂食品成分表<sup>8)</sup>に記載されているデンプン

ブン 8 種の平均値と比較すると、タンパク質は同程度であったが、脂質は 0.2 倍しかなく、逆に灰分は 7 倍を示した。

デンプンの連続式粘度変化では、メキシコのデンプンは、最高粘度に到達する温度が 90 °C を越えたが、その他のデンプンは 80 °C 前後であった。最高粘度、ブレイクダウン、冷却時の粘度増加については、品種間に差がみられ、*A. caudatus* の K4 と赤穂は、*A. hypochondriacus* の 3 種より、それぞれ 1.9 倍、4.8 倍、2.7 倍の高値を示した。伊藤ら<sup>82)</sup>によると、*A. caudatus* の K4 と赤穂のデンプンは、デンプン粒が膨潤、崩壊しやすいソフトなデンプンであると考えられる。

デンプンの膨潤度も品種間に差がみられ、*A. caudatus* の K4 と赤穂は、*A. hypochondriacus* の 3 種より、1.6 倍高値を示した。このことから K4 と赤穂は、膨潤しやすいデンプンであることがわかった。

アマランサスの糊化デンプンの硬さは、常温保存ではコーンスターチや白玉粉と同程度の硬さ、またはこれらの 2, 3 倍の硬さを維持するものに分かれたが、冷蔵保存では、コーンスターチや白玉粉が硬化したのに対し、アマランサスデンプンは赤穂を除く 4 種が軟化した。また品種間による差が生じ、*A. hypochondriacus* に属する 3 種は 20g 前後を、*A. caudatus* に属する 2 種は 50g 前後を維持した。付着性は、常温保存では、メキシコと赤穂がコーンスターチや白玉粉と同程度の付着性を示し、ナイロビと K4 は 1.6 倍、農研セ 91-3 は 0.6 倍を示した。冷蔵保存では、コーンスターチや白玉粉の付着性が増加したのに対し、アマランサスデンプンは赤穂を除く 4 種で低下あるいは同程度を示した。また品種間による差が生じ、*A. hypochondriacus* に属する 3 種は 90erg 前後を、*A. caudatus* に属する 2 種は 220erg 前後を維持した。以上のことから、アマランサスデンプンの低温における柔らかさ、付着性の低さの特性は、有効利用できるものと考えられる。



#### 第4項 要 約

アマランサスデンプンは、脂質が少なく、灰分を多く含むデンプンで、デンプン含量は約 50 %、アミロペクチンを 92 ~ 96 % 含むモチ種であった。デンプンの色は、白玉粉あるいは上新粉と同程度の白色度であり、その粒子は非常に小さく、品種間で差が認められた。アミログラフからは、*A. caudatus* に属するK4と赤穂が、糊化の際に膨潤、崩壊しやすいデンプンであることがわかった。そしてアマランサスデンプンの膨潤度にも、同様な品種間の差がみられた。

膨潤糊化させたアマランサスデンプンのレオメーターによる咀嚼試験での物性は、メキシコ、ナイロビ、K4は、常温保存より冷蔵保存の方が軟らかく、付着性も小さい、赤穂は、常温保存の方が軟らかく、付着性も小さかった。しかし農研セ91-3は、いずれの条件下でもほぼ同様の物性を示した。

#### 第2節 子実用アマランサス全粒粉を用いたビスケットの特性

##### 第1項 実験方法

##### 1. 試料および調製法

ビスケットの材料配合割合は、薄力粉 140g、アマランサス全粒粉 60g、ショートニング 67.5g、砂糖 45.5g、食塩 1.2g、蒸留水 50ml、バニラエッセンス 0.17ml とし、アマランサス全粒粉は、第2章第1項の1. で用いた方法よりの調製したものを、その他は市販品を使用した。これらの材料を混捏後、4℃の冷蔵庫内で1時間ねかせ、1個 20g を厚さ 7mm に成形し、180℃ 15分焼成した。

##### 2. ビスケットの破断応力、脆さ、硬さの物性測定<sup>83)</sup>

不動工業(株)製レオメーター(NRM-2010J-CW)を用いて、歯型押棒による圧縮破断試験の結果から自動解析された数値を用い、有意差検定を行った。測定条件は、レンジ 10,000g、テスト速度 30 cm/M、スイープ速度 60 cm/Mとした。

### 3. 官能検査<sup>84)</sup>

5種のアマランサスビスケットについて、評点法を用いて官能検査を行った。検査項目は、硬さ、香りと味、表面の焼き色ときめ、総合評価の4項目とし、普通(3点)を挟んで、+側と-側にそれぞれ2段階、計5段階で評価をした。解析は、二元配置法を用いて検定を行った。

## 第2項 結果

子実用アマランサス全粒粉を用いたビスケットの特性と官能検査結果を Table 25 に示した。焼成後のビスケットの厚みと重量には差がなかった。子実用アマランサス全粒粉を用いたビスケットは、硬さはコントロールに比べ有意に硬くなったが、ショートネスに関わる脆さも高値を示し、硬くて脆いビスケットであった。官能検査結果では、K4と赤穂の全粒粉を用いたビスケットが有意に好まれ、物性値と相関した。

## 第3項 考察

アマランサス子実全粒粉を混入して焼成したビスケットは、褐変が顕著であったので、コントロールを除く5種について官能検査を行った。物性値の脆さと硬さは、破断応力を基に、変形率や圧縮距離などから算出されたもので、数値が大きいほど硬く、また脆い。アマランサス子実デンプンの性質が脆さの増加に関与している可能性はすでに報告したが<sup>83)</sup>、その解明は継続研究となっていた。今回の実験から、*A. caudatus* に属するK4と赤穂のデンプンの特性

が、ショートネス改良に大きく影響していることが解ったが、アマランサス子実デンプンについては、更に研究を重ねる必要があると考える。

#### 第4項 要 約

アマランサス子実全粒粉5種を薄力粉 30 %と代替えして調製したそれぞれのビスケットは、硬いが脆いものとなり、ショートネス改良効果を認めた。なかでもK4と赤穂は、官能検査において好まれ、物性値とよく相関した。また、風味も改良され、総合的にもより高い評価を得た。

## 第6章 総括

アマランサス (*Amaranthus L.*) は、双子葉植物、アカザ目ヒユ科ヒユ属の植物である。アマランサスは、米国国立科学アカデミーの「経済的価値が期待される未利用熱帯植物」によると、タンパク質、ビタミン類などを豊富に含むことから、有望な食品素材の1つに選ばれている。アマランサスには多くの品種があるが、主に利用上から、葉菜類としての野菜用、穀物としての子実用に分けられている。

しかし、広く食用食物として期待されているにもかかわらず、国内外ともに食品成分の分析例など食品栄養学的な観点から検討した報告は少ない。

そこで、国内で栽培されている野菜用のラルシャーク、バヤム・エム、バヤム・ピィ、アビエビエ、丸葉、柳葉、バイアムの7種と、子実用のメキシコ、ナイロビ、農研セ91-3、K4、赤穂の5種、計12種について検討を行った。

・子実用アマランサスの種皮の色は、淡黄色または淡紅色であり、千粒重は0.39gから0.76gであった。

・一般成分は、12種の茎葉ではタンパク質  $24.9 \pm 5.2\%$ 、脂質  $2.5 \pm 0.8\%$ 、灰分  $21.3 \pm 1.6\%$ 、糖質  $51.2 \pm 7.0\%$ 、子実用5種ではタンパク質  $16.4 \pm 1.1\%$ 、脂質  $5.2 \pm 0.7\%$ 、灰分  $3.0 \pm 0.2\%$ 、糖質  $75.3 \pm 1.7\%$  であった。

・食物繊維成分は、12種の茎葉では水溶性繊維  $8.1 \pm 4.5\%$ 、不溶性繊維  $39.5 \pm 1.8\%$ 、子実用5種では水溶性繊維  $2.8 \pm 0.1\%$ 、不溶性繊維  $10.6 \pm 0.4\%$  と多かった。

・ミネラル成分は、Ca が特に多く、次いで Fe、P、K、Mg 等が多かった。

・ビタミン類は、9種の茎葉ではカロテン  $34,864 \pm 23,393 \mu\text{g}$ 、ビタミン C

622 ± 239mg で多く、子実用5種ではビタミン B<sub>1</sub> 0.06 ± 0.01mg、

B<sub>2</sub> 0.18 ± 0.03mg で多かった。

・脂肪酸組成は、野菜用では、リノレン酸 53 %、子実用では、リノール酸 43 %、次にオレイン酸 31 % と多かった。

・子実用のタンパク質のアミノ酸スコアは、FAO/WHO パタン(1973年)によると 67、FAO/WHO/UNU パタン(1985年)によると 73 であった。

次に食用アマランサスの嗜好性に関係すると考えられる遊離アミノ酸、遊離糖・糖アルコール、有機酸について分析を行った。

・総遊離アミノ酸含量は、野菜用では 1,240 ± 190mg で、特に呈味に関係する成分と考えられるアラニン 380 ± 140mg、グルタミン酸 320 ± 60mg、アスパラギン酸 100 ± 40mg、セリン 40 ± 8mg、グルタミン 30 ± 10mg、プロリン 30 ± 20mg、アスパラギン 30 ± 3mg であり、子実用では 370 ± 80mg であり、両者とも、遊離アミノ酸の 90 % は、タンパク質構成アミノ酸であった。

・タンパク質非構成アミノ酸としてはγ-アミノ酪酸が最も多く、野菜用では 80 ± 70mg、子実用では 20 ± 8mg であった。

・遊離糖は、野菜用では 3,170 ± 1,010mg、構成糖はスクロースが 1,840 ± 1,080mg で最も多く、次いでグルコース 1,000 ± 450mg、フルクトース 320 ± 70mg の順で、子実用では 6,200 ± 3,100mg、構成糖はスクロースが 3,730 ± 2,840mg で最も多く、次いでグルコース 2,170 ± 950mg、フルクトース 290 ± 170mg の順であった。糖アルコールは、野菜用ではグリセロール 70 ± 10mg、子実用ではグリセロール 170 ± 60mg、ソルビトール 140 ± 80mg であった。糖・糖アルコールは、特にアマランサスの呈味に関係する成分の一つと考えられる。

・有機酸は、シュウ酸が主で野菜用では 480 ± 210mg、子実用では

700 ± 250mg であった。

食品の機能性の観点から、新しい抗酸化成分を検索することを目的として、その抗酸化能について検討を行った。

食用アマランサス 12 種、17 部位のエタノール抽出物をリノール酸メチルを基質とした油系において抗酸化能スクリーニングを行ったところ、15 部位に抗酸化活性が見られることが示唆された。次に、この 15 部位の試料について、リノール酸を基質としたエマルジョン系の反応液に、各試料のエーテル、エタノール、水抽出物を添加して 100 日間にわたり抗酸化力を追跡した。その結果、16 種のアマランサス抽出物に非常に強い抗酸化活性が認められた。個々の試料の活性成分の溶媒に対する抽出性には異なった挙動がみられたが、多くは溶媒の極性が増すと非常に強い効果を示した。

そこで、上記 16 種の内 13 種のアマランサス抽出物とクエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールとの相乗効果、アマランサス抽出物の熱や pH に対する安定性について試験した。また強い抗酸化効果が認められた試料については、実際的な応用として肉団子調製時に抽出物を添加し、保存中の酸化安定性を油脂の変敗度を指標として検討した。

・抗酸化力試験において、強い抗酸化性を示したものは、アビエビエ、柳葉、ナイロビ茎葉の水抽出物、バヤム・エムとアビエビエのエタノール抽出物、バヤムとナイロビ茎葉のエーテル抽出物であった。

・クエン酸と相乗効果を示したものは、アビエビエと柳葉の水抽出物であり、 $\alpha$ -トコフェロールと相乗効果を示したものは、アビエビエと柳葉の水抽出物とアビエビエのエタノール抽出物であった。

・100℃ 120 分の加熱に対して安定性を示したものは、アビエビエと柳葉の水抽出物であった。

・pH に対する安定性を示したものは、アビエビエ、柳葉、ナイロビ茎葉の水抽



出物であった。

・肉団子の酸化安定性には、アビエビエと柳葉の水抽出物が効果を示し、これらは、クエン酸、 $\alpha$ -トコフェロールとの相乗効果により、更に強い酸化安定性を示し、肉団子の保存期間の延長をもたらした。そしてアビエビエのエタノール抽出物も、 $\alpha$ -トコフェロールとの相乗効果により強い酸化安定性を示した。

また、上記の抗酸化試験において強い抗酸化性を示した7種について、自動酸化に対する安定性試験、暫定オープン試験を行ったところ、ナイロビ茎葉の水抽出物を含んだ油脂だけが非常に強い安定性を示し、100日経過しても重量増加率が0.5%に達しなかった。

更に、ラジカル捕捉活性のスクリーニングを、山口らの開発した測定法により行ったところ、アビエビエ、柳葉、ナイロビとK4の茎葉の水抽出物、バイアム、ナイロビと農研セ91-3とK4の茎葉のエーテル抽出物に強いラジカル捕捉活性が認められ、なかでもアビエビエ、柳葉、ナイロビ茎葉の水抽出物では、非常に強いラジカル捕捉活性が認められた。

最後に、子実用アマランサスのデンプンに注目し、その特性を検討すると共に、ビスケット調製時に調理科学的検討を行った。

・デンプンの含量は約50%で、アミロペクチンを92~96%含むモチ種であった。

・デンプン粒子は、長径 $1.6 \pm 0.4 \mu\text{m}$ 、短径 $0.7 \pm 0.2 \mu\text{m}$ 、面積 $2.0 \pm 1.0 \mu\text{m}^2$ と非常に小さく、アミログラフからは、K4と赤穂が、糊化の際に膨潤、崩壊し易いデンプンであることを認めた。

・膨潤度の最高値は、メキシコ10.5、ナイロビ12.9、K419.0でその時の温度は82℃、農研セ91-313.0赤穂19.0でその時の温度は93℃であった。

・膨潤糊化させたアマランサスデンプンのレオメーターによる咀嚼試験での物

性は、低温において、柔らかく、付着性が低い特性を示した。

アマランサス子実デンプンは、クッキーの脆さの増加に関与するため、アマランサス子実全粒粉の利用例として、薄力粉 30 %と代替えたビスケットを調製した。その結果、K4と赤穂は、他の3種に比べ脆いビスケットとなり、官能検査においても、K4と赤穂を用いて調製したビスケットは、有意に好まれ、ショートネス改良効果を認めた。また、風味と総合評価も有意に好ましいと判定された。

以上のことから、食用アマランサスは、野菜用、子実用いずれも食品栄養学的に優れた食品であり、タンパク質、食物繊維、無機質、ビタミン類等の供給源として貢献できると考えられる。

また、デンプンの特性は、加工食品の素材として、食用アマランサスの水抽出物は、天然の抗酸化物質として利用価値があると期待できる。

## 謝 辞

終わりにのぞみ、本研究に関し、ご指導賜りました女子栄養大学教授・菅原龍幸農学博士に謹んで感謝の意を表します。

本論文をまとめるにあたり、ご助言を賜りました女子栄養大学教授・安原安代農学博士および女子栄養大学・山口文芳教授に心から感謝致します。

常にご協力を戴きました女子栄養大学講師・佐々木弘子栄養学博士、女子栄養大学栄養科学研究所の奥崎政美専任助教授、専任講師根岸由紀子栄養学博士に深く感謝いたします。

また、一部分析にご助言を戴きました広島大学名誉教授・今村経明農学博士、岡山大学農学部教授・稲葉昭次農学博士、および女子栄養短期大学助手・春日敦子栄養学博士に感謝いたします

最後に、実験にご協力戴きました川崎医療福祉大学 医療技術学部臨床栄養学科卒研究生の照喜名博子嬢、岡本理恵嬢、中本弘美嬢、船越理絵嬢、大本志保嬢、田中佐代子嬢、池本由紀嬢、岡本幸子嬢、本屋敷麻由子嬢、川上順稔嬢、佐藤真由美嬢、古田智子嬢、西田愛子嬢、星島瀬戸子嬢に厚く御礼を申し上げます。

### 参考文献

- 1) ナショナル・アカデミー・サイエンス編：21世紀の熱帯植物資源，  
楽游書房 p.16, (1983)
- 2) 東京農業大学農学部農業拓殖学科熱帯作物研究室編：-古代インディオの  
秘宝-アマランサス, p.21, (1988)
- 3) (財)農産業振興奨励会編：昭和63年度新作物検索調査事業報告書  
(アマランサス), (1989)
- 4) (財)農産業振興奨励会編：平成元年度新作物検索調査事業報告書  
(アマランサス), (1990)
- 5) 堀田 満, 山崎耕宇, 星川清規編：世界有用植物事典・植物編，  
平凡社 p.76, (1989)
- 6) 中村泰郎：今月の農業, 33, 34 (1989)
- 7) 佐柄一男, 阿部 弘：東北農業研究, 44, 239 (1991)
- 8) 科学技術庁資源調査会編：四訂日本食品標準成分表(二版), (1997)
- 9) 科学技術庁資源調査会編：五訂日本食品標準成分表分析  
マニュアル, p.83-88, (1997)
- 10) (社)日本栄養士会編：食物繊維, 第一出版 p.38, (1989)
- 11) 科学技術庁資源調査会編：日本食品食物繊維成分表, p.7, (1996)
- 12) 奥崎政美, 辻村 卓, 菅原龍幸：女子栄養大学栄養科学研究所報，  
第1号, 135 (1993)
- 13) 氏家 隆, 都竹由紀子, 森田公平, 田村マリ, 小高 要：ビタミン，  
64, 379 (1990)
- 14) 小高 要, 稲垣節子, 氏家 隆, 上野順士, 須田浩行：ビタミン，  
59, 451 (1985)
- 15) Guy Lepage and Claude C. Roy : J. of Lipid Research, 27, 114 (1986)

- 16) 科学技術庁資源調査会・資源調査所編：改訂日本食品アミノ酸組成表，  
(1982)
- 17) 小原哲二郎：雑穀－その科学と利用－，樹村房 p.76, 160, 363 他 (1981)
- 18) Ezeala D. O. : *Trop. Agric.*, **62**, 95 (1985)
- 19) Prakash D. and Pal M. : *J. Sci. Food Agric.*, **57**, 573 (1991)
- 20) Singhal R. S. and Kulkarni P. R. : *Int. J. Food Sci. Technol.*, **23**, 125 (1988)
- 21) 科学技術庁資源調査会編：五訂日本食品標準成分表－新規食品編－，  
(1997)
- 22) Rayas D. P., Satterlee L. D., and Mock C. M. : *Cereal Chem.*, **73**, 381 (1996)
- 23) Bressani R., Sanchez Marroquin A., and Morales E. : *Food Reviews Int.*,  
**8**, 23 (1992)
- 24) 鈴木泰夫編：食品の微量元素含量表，第一出版 (1993)
- 25) 相原 宏，遠藤三幸，菅 忠明，松本益美：愛媛県工業技術センター  
業務年報，1990, 113 (1991)
- 26) 三宅妙子，松本義信，根岸由紀子，奥崎政美，菅原龍幸：日本食生活  
学会誌，**9**(4), 45 (1999)
- 27) Awasthi C. P. and Tandan P. K. : *Prog. Hort.*, **19**, 207 (1987)
- 28) Prakash D. , Joshi B. D. , and Pal M. : *Int. J. Food Sci. Nutr.*, **46**, 47 (1995)
- 29) 三宅妙子，奥崎政美，山口文芳，菅原龍幸：日本食生活学会誌，  
**8**(2), 52 (1997)
- 30) 科学技術庁資源調査会編：日本食品脂溶性成分表，(1989)
- 31) Rita A. Teutonico and Dietrich Knorr : *Food Technol.*, **39**, 49 (1985)
- 32) Fujihara, S., Kasuga, A., Aoyagi, Y., and Sugahara, T. : *J. Food Sci.*,  
**60**, 1045 (1995)
- 33) 奥崎政美，根岸由紀子，菅原龍幸：日食工誌，**44**, 659 (1997)

- 34) (社) 日本食品科学工学会, 新・食品分析法編集委員会編:  
新・食品分析法, 光琳 p. 587-595 (1996)
- 35) 木内稔子, 近藤義和: 広島女子大学家政学部紀要, 第 20 号, 65 (1984)
- 36) 松岡徹夫, 細田 浩, 黒木柁吉: 食総研報, 第 51 号, 71 (1987)
- 37) 菅原龍幸, 山口文芳, 佐々木弘子, 青柳康夫: 女子栄養大学紀要,  
第 20 号, 77 (1989)
- 38) 三宅妙子, 根岸由紀子, 奥崎政美, 佐々木弘子, 菅原龍幸: 日本食生活  
学会誌, 10(1), 57 (1999)
- 39) 杉山智美, 小西雅子, 寺崎太二郎, 畑江敬子, 島田淳子: 日食工誌,  
42, 401 (1995)
- 40) 小原正美: 食品の味, 光琳 p.56, 105-107 (1979)
- 41) 会田久仁子, 角野幸子, 水野時子, 角野猛, 山田幸二: 日本家政学会誌,  
46, 871 (1995)
- 42) 建部雅子, 石原俊幸, 松野宏治, 藤本順子, 米山忠克: 日本土壤肥料学  
雑誌, 66, 238 (1995)
- 43) 吉永悟志, 長田健二, 小林廣美, 高梨純一: 四国農業試験場報告,  
第 61 号, 99 (1997)
- 44) Xue Q., Wang L., Newman R. K., Newman C. W., and Graham H. :  
J. Cereal Sci., 26, 251 (1997)
- 45) 吉田企世子: 調理科学, 26, 359 (1993)
- 46) 建部雅子, 石原俊幸, 石井かおる, 米山忠克: 日本土壤肥料学雑誌,  
66, 535 (1995)
- 47) 渡邊容子, 内山総子, 吉田企世子: 園芸学会雑誌, 62, 889 (1994)
- 48) Iris Ruhl and Karl Harrmann : Z Lebebsm Unters Forsch, 180, 215 (1985)
- 49) Singhal R. S. and Kulkarni P. S. : J. Sci. Food Agric., 42, 325 (1988)



- 50)能勢征子, 藤野直子:日食工誌, 29, 507 (1982)
- 51)内藤茂三, 山口直彦, 横尾良夫:日食工誌, 28, 291 (1981)
- 52)齐藤 浩, 木村雄吉, 坂本和紀:栄養と食糧, 29, 404 (1976)
- 53)平原文子, 高居百合子, 岩尾裕之:栄養学雑誌, 32, 1 (1974)
- 54)春日敦子, 青柳康夫, 菅原龍幸:日食工誌, 35, 828 (1988)
- 55)春日敦子, 青柳康夫, 菅原龍幸:日食工誌, 40, 56 (1993)
- 56)日本油化学協会編:基準油脂分析試験法, 2. 4. 12.-71
- 57)満田久輝, 安本教傳, 岩見公和:栄養と食糧, 19, 210 (1966)
- 58)市川朝子, 藤井 聡, 河本正彦:日食工誌, 22, 159 (1975)
- 59)津田孝範, 藤井正人, 渡邊美栄, 中莖秀夫, 大島克己, 大澤俊彦,  
川岸舜明:日食工誌, 41, 475 (1994)
- 60)津田孝範, 深谷吉則, 大島克己, 山本 明, 川岸舜明, 大澤俊彦:  
日食工誌, 42, 430 (1995)
- 61)菅原龍幸編:食品学実験書, 建帛社 p.58-59, p.117-123 (1995)
- 62)太田静行:油脂食品の劣化とその防止, 幸書房 p.135 (1977)
- 63)梶本五郎, 堀川和夫, 太田正徳, 中山孝夫, 米山 智, 平野二郎,  
湯木悦二, 藤原正雄, 千葉重明, 益山新六:油化学, 25, 525 (1976)
- 64)梶本五郎, 中山孝夫, 堀川和夫, 森島 博, 米山 智, 石田祀朗,  
湯木悦二, 藤原正雄, 千葉重明, 益山新六:油化学, 27, 38 (1978)
- 65)日本油化学協会編:基準油脂分析試験法, 暫1-1981
- 66)Yamaguchi, T., Takamura, H., Matoba, T., and Terao, J. : Biosci. Biotechnol.  
Biochem., 62, 1201(1998)
- 67)山口智子, 林恵里奈, 藤本さつき, 高村仁知, 的場輝佳:日本食品科学  
工学会第45回大会講演集, (社)日本食品科学工学会 p.67 (1998)
- 68)Sanchez Marroquin A., Domingo M.V., Maya S., and Saldana C. :

J. Food Sci., 50, 789 (1985)

69)Gupta C. and Sehgal S. : Plant Foods Hum. Nutr., 42, 239 (1992)

70)Pacheco de Delahaye E. and Portillo M. : Arch Latinoam Nutr.,  
40, 360 (1990)

71)Sarojini G., Nirmalamma N., and Chaturvedi A. : J. Food Sci. Technol .,  
33, 345 (1996)

72)Del Valle F. R., Escobedo M., Sanchez Marroqin A., Bourges H., Bock M. A.,  
and Biemer P. : Plant Foods Hum. Nutr., 43, 145 (1993)

73)川端晶子, 寺元芳子編:新版調理学, 地球社 p.202, 115 (1995)

74)Yanez G.A., Messinger J.K., Walker C.E., and Rupnow J.H. : Cereal Chem.,  
63, 273 (1986)

75)Paredes Lopez O. and Hernandez Lopez D. : Starch, 43, 57 (1991)

76)Sudhaker V., Singhal R.S., and Kulkarni P.R. : Starch, 44, 369 (1992)

77)Singhal R.S. and Kulkarni P.R. : Starch, 43, 15 (1991)

78)Jingan Zhao and Roy L.Whistler : Creal Chem., 71, 392 (1994)

79)二國二郎監修:澱粉科学ハンドブック, 朝倉書店 p.174-175, 227-228 (1997)

80)鈴木綾子, 金山睦子, 竹田靖史, 桧作 進:澱粉科学, 33, 191 (1986)

81)遠藤 繁, 苅部園子, 岡田憲三, 長尾精一:日食工誌, 35, 7 (1988)

82)伊藤嘉奈子, 山田高司, 五島義昭, 拓植治人:日食工誌, 38, 499 (1991)

83)三宅妙子:川崎医療福祉学会誌, 4, 121 (1994)

84)川端晶子監修:フローチャートによる調理科学実験, 地人書館  
p.102-105, 114 (1989)

Table 1 Rind color & size of selected amaranthus grains

Variety	Rind color	Weight of 1,000 grains (g)
Mexico	light yellow	0.73
Nairobi	light yellow	0.76
Nouken c. 91-3	light yellow	0.73
K 4	light red	0.43
Akou	light red	0.39
Mean		0.61
±S. D.		0.16

Table 2 Proximate compositions of selected amaranthus cultivars

Variety	g/100g in wet matter		g/100g in dry matter		
	Moisture	Protein (N x 6.25)	Lipid	Ash	Carbohydrates
<b>&lt;A. vegetables&gt;</b>					
Rarushaku	84.5	28.4	3.2	22.6	45.8
BAYAM. M	84.7	25.5	2.0	20.3	52.3
BAYAM. P	84.6	18.2	1.9	18.8	61.0
ABIEBIE	85.4	24.0	2.1	20.5	53.4
Maruba	86.8	21.2	1.5	22.0	55.3
Yanagiba	86.8	22.7	1.5	20.5	55.3
Baiamu	86.7	21.8	2.3	21.1	54.9
<b>&lt;Stem &amp; leaf of A. grains&gt;</b>					
Mexico	82.7	16.2	2.3	18.5	63.0
Nairobi	87.0	26.2	3.1	23.1	47.7
Nouken c. 91-3	88.5	33.9	2.6	22.6	40.9
K 4	89.1	33.0	3.7	22.9	40.4
Akou	87.5	28.0	4.0	23.2	44.8
Mean	86.2	24.9	2.5	21.3	51.2
±S. D.	1.8	5.2	0.8	1.6	7.0

Table 3 Proximate compositions of selected amaranthus cultivars

Variety	g/100g in wet matter		g/100g in dry matter		
	Moisture	Protein (N x 6.25)	Lipid	Ash	Carbohydrates
<A. grains>					
Mexico	7.4	17.3	5.8	3.0	73.9
Nairobi	7.6	16.8	5.0	3.4	74.8
Nouken c. 91-3	7.9	17.4	6.1	3.1	73.4
K 4	7.4	16.2	5.1	2.7	76.0
Akou	7.1	14.5	4.2	3.0	78.3
Mean	7.5	16.4	5.2	3.0	75.3
±S.D.	0.3	1.1	0.7	0.2	1.7

Table 4 Dietary fibers<sup>a</sup> of selected amaranthus cultivars

Variety	SDF <sup>b</sup>	IDF <sup>c</sup>	Cellulose	Hemicellulose	ADF <sup>d</sup> - Lignin
<A. vegetables>					
Rarushaku	10.3	40.6	10.4	3.8	2.8
BAYAM. M	10.5	38.6	10.8	4.1	3.2
BAYAM. P	11.7	44.2	12.8	2.7	3.1
ABIEBIE	12.3	38.4	12.8	3.1	3.0
Maruba	12.1	37.9	13.3	2.8	2.3
Yanagiba	12.9	38.6	14.0	1.4	3.2
Baiamu	12.8	38.3	13.9	4.3	2.7
<Stem & leaf of A. grains>					
Mexico	3.5	40.5	10.6	6.4	4.2
Nairobi	2.3	40.0	10.4	3.3	3.6
Nouken c. 91-3	4.3	40.9	11.1	3.5	4.2
K 4	2.8	39.4	10.3	3.4	3.9
Akou	1.6	36.8	9.8	4.0	3.9
Mean	8.1	39.5	12.6	3.2	2.9
±S. D.	4.5	1.8	1.3	0.9	0.3

<sup>a</sup> % dry matter

<sup>b</sup> water soluble dietary fiber

<sup>c</sup> water insoluble dietary fiber

<sup>d</sup> acid detergent fiber



Table 5 Dietary fibers<sup>a</sup> of selected amaranthus cultivars

Variety	SDF <sup>b</sup>	IDF <sup>c</sup>	Cellulose	Hemicellulose	ADF <sup>d</sup> - Lignin
(A. grains)					
Mexico	2.8	10.2	3.6	1.5	1.7
Nairobi	2.7	10.9	4.5	2.8	2.0
Nouken c. 91-3	3.1	10.7	2.7	3.5	3.2
K 4	2.8	11.1	3.7	2.1	2.2
Akou	2.8	10.2	3.3	2.2	3.2
Mean	2.8	10.6	3.6	2.4	2.5
±S.D.	0.1	0.4	0.6	0.7	0.6

<sup>a</sup> % dry matter

<sup>b</sup> water soluble dietary fiber

<sup>c</sup> water insoluble dietary fiber

<sup>d</sup> acid detergent fiber

Table 6 Mineral compositions\* of selected amaranthus cultivars

Variety	Ca	P	Fe	Na	K	Mg	Mn	Zn	Cu
	mg/100g								
	-μg/100g-								
<b>&lt;A. vegetables&gt;</b>									
Rarushaku	5,903	1,058	11.0	58	6,110	974	13	4,535	684
BAYAM. M	4,497	1,203	10.5	52	6,229	863	13	4,366	627
BAYAM. P	4,026	1,240	9.1	52	6,123	805	13	4,786	591
ABIEBIE	3,411	1,151	9.6	55	7,253	705	21	7,418	541
Maruba	3,091	1,250	11.4	68	8,924	667	15	5,273	583
Yanagiba	3,356	1,053	11.4	61	8,235	803	15	8,621	667
Baiamu	3,301	1,090	12.0	53	8,586	947	8	4,158	564
Mean	3,941	1,149	10.7	57	7,351	823	14	5,594	608
±S.D.	920	78	1.0	5	1,140	106	4	1,601	49
<b>&lt;Stem &amp; leaf of A. grains&gt;</b>									
Mexico	5,988	1,168	35.8	35	7,931	491	4	5,012	0
Nairobi	4,323	692	63.8	46	12,508	515	2	5,131	0
Nouken c. 91-3	5,278	1,009	61.7	52	8,365	513	7	6,243	0
K 4	4,991	1,037	73.4	55	9,991	560	4	6,055	0
Akou	5,840	864	92.0	48	9,624	680	4	5,776	0
Mean	5,284	954	65.3	47	9,684	552	4	5,643	0
±S.D.	602	163	18.2	7	1,605	68	2	491	0
Mean	4,500	1,068	33.5	53	8,323	710	10	5,615	355
±S.D. (n=12)	1,041	154	29.4	8	1,776	163	6	1,263	302

\* % dry matter

Table 7 Mineral Compositions<sup>a</sup> of selected amaranthus cultivars

Variety	Ca	P	Fe	Na	K	Mg	Mn	Zn	Cu
	----- mg/100g			----- μg/100g-					
(A. grains)									
Mexico	281	730	6.5	2	374	241	3	3,743	231
Nairobi	431	823	8.4	1	280	252	6	3,911	273
Nouken c. 91-3	328	770	8.7	2	320	239	3	4,369	263
K 4	328	668	5.6	1	269	235	2	2,637	170
Akou	326	690	5.5	2	270	233	2	2,761	188
Mean	339	736	6.9	2	303	240	3	3,484	225
±S.D.	50	56	1.4	1	40	7	2	674	40

<sup>a</sup> dry matter

Table 8 Vitamin contents\* of selected amaranthus cultivars

Variety	Carotene μg/100g	Thiamin	Riboflavin	Niacin	Ascorbic acid
		----- mg/100g -----			
<b>&lt;A. vegetables&gt;</b>					
Rarushaku	67, 271	0.19	1.74	18.7	897
BAYAM. M	64, 601	0.13	1.83	17.6	1, 020
BAYAM. P	64, 844	0.19	1.88	14.3	805
Maruba	39, 795	0.23	2.35	16.7	735
Mean	59, 128	0.19	1.95	16.8	864
±S.D.	11, 210	0.04	0.24	1.6	107
<b>&lt;Stem &amp; leaf of A. grains&gt;</b>					
Mexico	6, 728	0.17	0.98	8.7	393
Nairobi	23, 823	0.15	1.38	7.1	523
Nouken c. 91-3	20, 557	0.17	2.17	13.9	443
K 4	13, 156	0.09	1.74	16.5	514
Akou	13, 000	0.08	1.76	14.4	264
Mean	15, 453	0.13	1.61	12.1	427
±S.D.	6, 058	0.04	0.40	3.6	95
Mean	34, 864	0.16	1.76	14.2	622
±S.D. (n=9)	23, 393	0.05	0.38	3.7	239

\* dry matter

Table 9 Vitamin contents\* of selected amaranthus cultivars

Variety	Thiamin ----- mg/100g	Riboflavin ----- mg/100g	Niacin ----- mg/100g
<A. grains>			
Mexico	0.06	0.18	1.1
Nairobi	0.06	0.22	1.7
Nouken c. 91-3	0.07	0.16	1.9
K 4	0.05	0.14	1.1
Akou	0.07	0.22	1.5
Mean	0.06	0.18	1.5
±S.D.	0.01	0.03	0.3

\* dry matter

Table 10 Fatty acid compositions of selected amaranthus cultivars (%)

Variety	14:0	14:1	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	22:0
⟨ A. vegetables ⟩											
Rarushaku	4.1	2.3	16.9	2.3	2.2	4.2	12.0	55.2	0.3	0.3	0.3
BAYAM. M	4.5	2.4	16.6	1.2	2.0	5.1	15.0	52.4	0.3	0.3	0.4
BAYAM. P	3.5	1.8	16.1	2.3	1.8	4.7	12.9	55.9	0.2	0.4	0.5
ABIEBIE	4.1	2.3	18.5	2.0	2.1	4.3	15.8	50.0	0.3	0.2	0.4
Maruba	5.1	2.6	17.4	1.5	1.8	4.7	16.1	49.5	0.2	0.4	0.6
Yanagiba	4.8	2.9	17.2	1.9	2.0	4.5	13.4	52.1	0.3	0.4	0.5
Baiamu	3.9	2.0	16.8	2.3	1.7	5.4	13.6	52.8	0.2	0.9	0.4
Mean	4.3	2.3	17.1	1.9	2.0	4.7	14.1	52.6	0.3	0.4	0.4
±S.D.	0.5	0.3	0.7	0.4	0.2	0.4	1.4	2.2	0.1	0.2	0.1
⟨ A. grains ⟩											
Mexico	0.3	0.0	26.0	0.4	2.4	36.9	32.2	0.5	1.0	0.4	0.0
Nairobi	0.2	0.0	18.7	0.3	2.7	30.7	45.0	1.2	0.7	0.3	0.3
Nouken c.91-3	0.2	0.0	21.8	0.4	1.6	33.3	40.4	1.2	0.5	0.4	0.2
K 4	0.2	0.0	18.5	0.4	1.8	28.2	48.6	1.3	0.7	0.3	0.0
Akou	0.3	0.0	19.1	0.5	1.8	27.3	48.5	1.5	0.8	0.4	0.0
Mean	0.2	0.0	20.8	0.4	2.1	31.3	42.9	1.1	0.7	0.4	0.1
±S.D.	0.1	-	2.9	0.1	0.4	3.5	6.1	0.3	0.2	0.1	0.1



Table 11 Total amino acid compositions<sup>a</sup> of selected amaranthus cultivars

Variety	Ile	Leu	Lys	SAA		AAA		Thr	Trp	Val	His	Arg	Ala	Asp	Glu	Gly	Pro	Ser	Total		
				Met	Cys	Total	Phe													Tyr	Total
----- mg/100g -----																					
<b>&lt;A. grains&gt;</b>																					
Mexico	461	790	795	314	337	651	557	511	1,069	493	164	519	370	1,267	519	1,175	2,468	1,017	556	802	13,116
Nairobi	460	755	773	279	288	567	535	479	1,015	465	160	550	349	1,140	507	1,091	2,043	1,018	617	841	12,350
Nouken c. 91-3	497	823	815	275	314	589	576	512	1,088	504	163	563	368	1,204	543	1,195	2,395	1,029	582	850	13,206
K 4	468	770	775	281	290	571	536	506	1,042	468	164	526	332	1,056	490	1,157	2,204	955	532	826	12,335
Akou	469	789	776	268	267	536	544	506	1,050	477	163	546	330	1,025	515	1,184	2,150	943	539	826	12,317
Mean	471	785	787	284	299	583	550	503	1,053	481	163	541	350	1,138	515	1,161	2,252	992	565	829	12,665
±S.D.	13	23	16	16	24	38	15	12	25	15	2	16	17	90	17	37	157	36	31	16	406

<sup>a</sup> dry matter

Table 12 Amino acid scores of selected amaranthus cultivars

Variety	Ile	Leu	Lys	SAA	AAA	Thr	Trp	Val	His	amino acid score	
<A. grains> Mexico	A	67	65	85	107	102	71	99	61	-	61
	B	93	70	80	147	99	85	85	85	112	70
Nairobi	A	69	64	85	96	99	69	99	66	-	64
	B	95	69	80	132	97	82	85	93	108	69
Nouken c. 91-3	A	72	67	86	96	103	73	97	65	-	65
	B	99	72	81	132	100	86	84	92	110	72
K 4	A	72	67	88	100	106	72	105	65	-	65
	B	100	72	83	138	103	86	90	92	107	72
Akou	A	81	77	98	105	119	82	116	76	-	76
	B	112	83	93	144	116	98	100	107	118	83
Mean	A	72	68	88	100	105	73	103	67	-	67
	B	99	73	83	138	103	87	89	93	111	73

A: value compared to 1973 FAO/WHO standard pattern for adults  
 B: value compared to 1985 FAO/WHO/UNU standard pattern for preschoolers, 2-5 years of age

Table 13 Instrument and operating condition of gas-liquid chromatograph for organic acids analysis

Instrument	Shimadzu Gas Chromatograph GC - 4 CM PF type	
Nitrogen flow rate	Hydrogen flame ionization detector	
Hydrogen flow rate	60 ml / min.	
Air flow rate	50 ml / min.	
	900 ml / min.	
	《 Oxalic acid 》	
Column	2.0 m × 3 mm I.D. glass column	《 Malic acid et.al 》
Supported material	Chromosorb W (AW,DMCS), 80 ~100 mesh	1.0 m × 3 mm I.D. glass column Diasolid L, 60~80 mesh
Liquid phase	5 %- Reoplex 400	10 %- Silicone DC 560
Injection temp.	235°C	270°C
Detector temp.	235°C	270°C
Column temp.	50~200°C at 6°C/ min. starting from 6 minutes after injection	60~250°C at 5°C/ min. starting from 5 minutes after injection

Table 14-1 Contents of free amino acids in selected amaranthus cultivars

	ASP	THR	SER	ASN	GLU	GLN	PRO	GLY	ALA	VAL	CYS	MET
(mg/100g dry matter)												
<b>&lt; A. vegetables &gt;</b>												
Rarushaku	149.6	24.1	35.9	28.8	420.7	35.2	15.4	4.4	348.8	18.4	0.0	0.0
BAYAM. M	82.5	31.1	54.3	32.5	330.6	50.2	71.3	10.0	482.1	29.7	0.0	0.0
BAYAM. P	16.8	28.5	31.3	34.7	185.9	22.1	63.9	9.5	656.6	25.1	0.0	0.0
ABIEBIE	112.9	24.9	39.6	32.7	349.3	32.4	18.8	7.5	455.6	23.9	0.0	0.0
Maruba	140.4	29.7	55.8	31.6	361.4	50.2	18.7	5.5	256.5	29.8	0.0	0.0
Yanagiba	156.0	20.3	39.4	28.1	352.2	51.0	10.9	4.5	245.6	17.8	0.0	0.0
Baiamu	99.3	23.1	37.2	23.2	307.2	35.0	14.1	4.2	223.2	21.5	0.0	0.0
Mean	108.2	25.9	41.9	30.2	329.6	39.4	30.4	6.5	381.2	23.7	0.0	0.0
±S.D.	45.0	3.6	8.7	3.6	66.9	10.4	23.7	2.3	147.1	4.5	0.0	0.0
<b>&lt; A. grains &gt;</b>												
Mexico	27.4	5.7	10.4	8.1	38.6	14.5	9.6	7.6	16.2	6.0	0.0	3.2
Nairobi	28.4	11.0	21.0	12.5	45.7	18.2	17.1	11.6	27.0	13.9	0.0	5.7
Nouken c.91-3	27.0	7.1	16.5	7.5	48.9	13.5	13.1	8.3	22.2	8.9	0.0	3.2
K 4	22.3	10.0	21.6	11.4	50.9	29.6	17.1	11.4	27.4	11.1	1.3	4.8
Akou	23.5	10.1	23.6	10.1	59.7	32.0	19.4	11.7	32.0	12.1	2.5	5.5
Mean	25.7	8.8	18.6	9.9	48.8	21.5	15.3	10.1	25.0	10.4	1.9	4.5
±S.D.	2.4	2.0	4.7	1.9	7.7	7.8	3.5	1.8	5.4	2.8	-	1.1

SAR : Sarcosine,  $\alpha$ -AAA :  $\alpha$ -Aminoadipic acid CIT : Citrulline,  $\alpha$ -ABA :  $\alpha$ -Amino-n-butyric acid,

CYST : Cystathionine,  $\beta$ -ALA :  $\beta$ -Alanine  $\beta$ -AIBA :  $\beta$ -Aminoisobutyric acid,

$\gamma$ -ABA :  $\gamma$ -Amino-n-butyric acid, ORN : Ornithine,

1-MEHIS : 1-Methylhistidine, 3-MEHIS : 3-Methylhistidine

Table 14-2 Contents of free amino acids in selected amaranthus cultivars  
(mg/100g dry matter)

	ILEU	LEU	TYR	PHE	TRP	LYS	HIS	ARG	SAR	$\alpha$ -AAA	CIT	$\alpha$ -ABA
<b>&lt; A. vegetables &gt;</b>												
Rarushaku	12.0	14.9	8.7	10.0	7.8	10.4	3.9	9.3	0.0	21.2	3.1	1.0
BAYAM. M	23.0	27.3	14.6	14.5	14.9	18.7	5.1	19.7	0.0	23.9	3.1	2.6
BAYAM. P	18.2	21.5	13.7	15.0	11.8	15.9	3.9	13.2	0.0	18.7	4.0	1.3
ABIEBIE	17.7	19.7	12.9	13.5	16.1	14.2	6.3	15.1	0.0	15.6	1.8	1.1
Maruba	23.0	25.7	16.1	16.8	21.3	19.3	6.3	23.5	0.0	14.3	2.7	1.6
Yanagiba	12.4	13.1	8.6	10.8	14.5	12.3	4.1	20.1	0.0	14.4	2.3	1.1
Baiamu	14.4	15.7	9.7	7.2	14.0	13.8	4.7	13.8	0.0	14.8	1.8	1.1
Mean	17.2	19.7	12.0	12.5	14.3	14.9	4.9	16.4	0.0	17.6	2.7	1.4
$\pm$ S.D.	4.3	5.1	2.8	3.1	3.8	3.0	1.0	4.5	0.0	3.5	0.7	0.5
<b>&lt; A. grains &gt;</b>												
Mexico	5.3	5.6	7.8	4.9	9.8	6.7	7.5	26.6	0.0	8.2	2.3	0.0
Nairobi	9.9	11.7	17.6	9.8	15.5	14.2	16.8	92.3	0.0	3.5	2.8	0.0
Nouken c.91-3	7.8	7.8	11.8	6.3	11.0	10.7	13.4	51.4	0.0	4.8	1.9	0.0
K 4	9.2	9.9	15.7	8.5	13.2	14.6	14.7	56.9	0.0	3.9	3.8	0.0
Akou	10.4	10.4	17.2	8.3	16.2	17.7	14.7	65.2	0.0	2.6	1.9	0.0
Mean	8.5	9.1	14.0	7.5	13.1	12.8	13.4	58.5	0.0	4.6	2.5	0.0
$\pm$ S.D.	1.8	2.1	3.8	1.8	2.4	3.8	3.2	21.3	0.0	2.0	0.7	0.0

Table 14-3 Contents of free amino acids in selected amaranthus cultivars

		(mg/100g dry matter)						Total
		CYST	$\beta$ -ALA	$\beta$ -AIBA	$\gamma$ -ABA	ORN	1-MEHIS	3-MEHIS
< A. vegetables >								
Rarushaku		0.0	3.6	1.6	54.3	4.0	0.0	1246.9
BAYAM. M		0.0	8.5	1.6	94.4	3.7	0.0	1449.6
BAYAM. P		0.0	5.4	1.0	254.6	4.3	0.0	1476.8
ABIEBIE		0.0	6.8	1.6	76.4	2.4	0.0	1318.7
Maruba		0.0	9.5	1.6	36.9	6.1	0.0	1204.1
Yanagiba		0.0	5.8	1.6	27.3	2.4	0.0	1076.4
Baiamu		0.0	10.0	1.3	17.1	4.7	0.0	931.9
Mean		0.0	7.1	1.5	80.1	3.9	0.0	1243.5
$\pm$ S.D.		0.0	2.2	0.2	75.5	1.2	0.0	195.4
< A. grains >								
Mexico		0.0	0.9	0.0	12.1	4.3	0.0	249.2
Nairobi		0.0	5.5	0.0	37.4	3.9	0.0	453.0
Nouken c.91-3		0.0	4.8	0.0	20.1	2.9	0.0	330.7
K 4		0.0	5.1	0.0	20.1	3.6	0.0	397.9
Akou		0.0	7.1	0.0	23.1	4.9	0.0	441.7
Mean		0.0	4.7	0.0	22.6	3.9	0.0	374.5
$\pm$ S.D.		0.0	2.1	0.0	8.2	0.7	0.0	84.9



Table 15 Contents of free sugars and free alcohols in selected amaranthus cultivars  
(mg/100g dry matter)

	Glucose	Fructose	Sucrose	Sorbitol	Glycerol	Total
<b>&lt;A. vegetables&gt;</b>						
Rarushaku	811	281	3,540	35	70	4,737
BAYAM. M	1,345	394	1,198	0	112	3,049
BAYAM. P	621	245	3,134	0	78	4,078
ABIEBIE	1,099	347	1,758	0	74	3,278
Maruba	692	352	727	0	63	1,834
Yanagiba	610	245	942	0	66	1,863
Baiamu	1,823	440	1,620	0	73	3,956
Mean	1,000	329	1,846	-	77	3,256
±S.D.	453	75	1,086	-	16	1,108
<b>&lt;A. grains&gt;</b>						
Mexico	915	422	2,303	123	98	3,861
Nairobi	3,117	522	5,379	235	177	9,430
Nouken c.91-3	2,656	185	7,948	83	150	11,022
K 4	1,391	96	1,566	58	215	3,326
Akou	2,771	270	1,477	219	256	4,993
Mean	2,170	299	3,735	144	179	6,526
±S.D.	959	173	2,842	80	60	3,476

Table 16 Contents of organic acids in selected amaranthus cultivars  
(mg/100g dry matter)

	Oxalic acid	Malic acid	Tartaric acid	Isocitrate acid	Citric acid
<b>&lt; A. vegetables &gt;</b>					
Rarushaku	787	0	93	0	69
BAYAM. M	314	0	39	0	37
BAYAM. P	500	0	22	10	35
ABIEBIE	762	0	23	7	200
Maruba	437	152	33	25	68
Yanagiba	253	0	39	13	69
Baiamu	373	0	0	0	79
Mean	489	-	42	14	80
±S.D.	211	-	24	7	56
<b>&lt; A. grains &gt;</b>					
Mexico	962	0	0	0	2
Nairobi	426	0	0	13	0
Nouken c.91-3	692	0	5	6	0
K 4	475	0	0	13	0
Akou	954	0	5	0	0
Mean	702	0	5	11	-
±S.D.	254	0	-	3	-

Table 17 Screening for antioxidant activity of edible amaranthus

Variety	Activity
Rarushaku (A)	++
BAYAM.M (A)	++
BAYBM.P (A)	++
ABIEBIE (A)	++
Maruba (A)	++
Yanagiba (A)	++
Baiamu (A)	++
Mexico (A)	++
Nairobi (A)	++
Nouken c.91-3 (A)	++
K 4 (A)	++
Akou (A)	++
Mexico (B)	++
Nairobi (B)	++
Nouken c.91-3 (B)	—
K 4 (B)	++
Akou (B)	—

(1) Tissues of plant body used for extraction are indicate asfollows :

A ; Stems & Leaves B ; Seeds

(2) +++ :  $0 \leq \text{POVs} / \text{POVc} < 0.2$  ++ :  $0.2 \leq \text{POVs} / \text{POVc} < 0.4$

+ :  $0.4 \leq \text{POVs} / \text{POVc} < 0.7$  - :  $0.7 \leq \text{POVs} / \text{POVc}$

POVs : Peroxide value with sample

Table 18 Results of fat stability tests (%)

Storage days	Variety							
	Control	ABIEBIE (A)	Yanagiba (A)	Nairobi* (A)	BAYAM.M (B)	ABIEBIE (B)	Balamu(C)	Nairobi* (C)
1	-0.07	-0.89	-1.1	-2.38	-0.79	-0.62	-0.85	-0.84
2	-0.15	-1.17	-1.13	-2.43	-0.79	-0.66	-0.89	-0.88
3	0.18	-1.1	-1.02	-2.33	-0.11	-0.003	-0.52	-0.53
4	1.66	0.21	0.45	-1.05	1.25	1.26	0.97	0.94
5		0.87	1.04	-0.5			1.48	
10				0.14				
20				0.18				
30				-1.09				
40				-2.4				
50				-2.69				
60				-4.38				
70				-5.18				
80				-0.05				
90				-0.06				
100				-0.05				

\* : Stems & Leaves

A : Water extract      B : Ethanol extract      C : Ether extract

Table 19 Size of amaranthus starch

Variety	long diameter ( $\mu\text{m}$ )	short diameter ( $\mu\text{m}$ )	area ( $\mu\text{m}^2$ )
Mexico	1.2	0.5	1.4
Nairobi	1.1	0.6	1.0
Nouken c.91-3	1.5	0.6	1.4
K 4	2.1	0.9	2.8
Akou	2.1	1.1	3.6
Mean	1.6	0.7	2.0
$\pm$ S. D.	0.4	0.2	1.0

Table 20 Color of amaranthus starch

Variety	L	a	b	$\Delta E$ (NBS)
Mexico	95.5	-2.1	1.8	3.6
Nairobi	98.3	-2.3	2.1	1.5
Nouken c.91-3	96.6	-2.2	2.9	2.4
K 4	97.5	-1.8	1.4	2.5
Akou	98.9	-2.0	2.7	1.5
Corn starch	98.6	-3.5	2.9	-
Shiratamako	96.7	-2.8	5.3	3.1
Jousinko	98.4	-3.1	2.8	0.5

NBS : 0.5~1.5 ; slight, 1.5~3.0 ; noticeable, 3.0~6.0 ; appreciable



Table 21 Proximate composition of amarathus starch

Variety	g/100g in wet matter				g/100g in dry matter			
	Moisture	Protein	Lipid	Ash	Carbohydrates	Ash	Lipid	Protein
Mexico	7.9	0.07	0.11	1.41	98.41	1.41	0.11	0.07
Nairobi	6.0	0.02	0.11	1.49	98.38	1.49	0.11	0.02
Nouken c.91-3	9.3	0.08	0.17	1.76	97.99	1.76	0.17	0.08
K 4	6.0	0.05	0.11	0.96	98.88	0.96	0.11	0.05
Akou	6.7	0.05	0.21	1.29	98.45	1.29	0.21	0.05
Mean	7.2	0.05	0.14	1.38	98.42	1.38	0.14	0.05
± S. D.	1.3	0.02	0.04	0.26	0.28	0.26	0.04	0.02

Table 22 Proportion of amylose & amylopectin  
in amaranthus starch

Variety	Proportion by colorimetric determination amylose : amylopectin	Blue value * (absorbance)
Mexico	5 : 95	0.21
Nairobi	4 : 96	0.17
Nouken c.91-3	4 : 96	0.18
K 4	8 : 92	0.16
Akou	8 : 92	0.19

\*: 0.8~1.2 for amylose & 0.15~0.22 for amylopectin

Table 23 Change of continuous viscosity in amaranthus starch\*

Variety	Mexico	Nairobi	Nouken c.91-3	K 4	Akou
Temp. at 20 BU of viscosity (°C)	77.5	76	76.8	73	74.5
Viscosity of maximum (BU)	225	190	215	418	373
Temp. at viscosity of maximum (°C)	92.5	81.3	82.8	79	81.3
Viscosity at 92.5°C (BU)	223	165	185	310	300
Viscosity after 10 min. on 92.5°C (BU)	225	155	165	270	255
Break down (BU)	0	35	50	148	118
Viscosity at 50°C (BU)	268	208	230	400	418
Increase of viscosity for cooling (BU)	43	53	65	130	163

\* : Concentration of starch is 6% all.

**Table 24 Swelling degree of amaranthus starch**

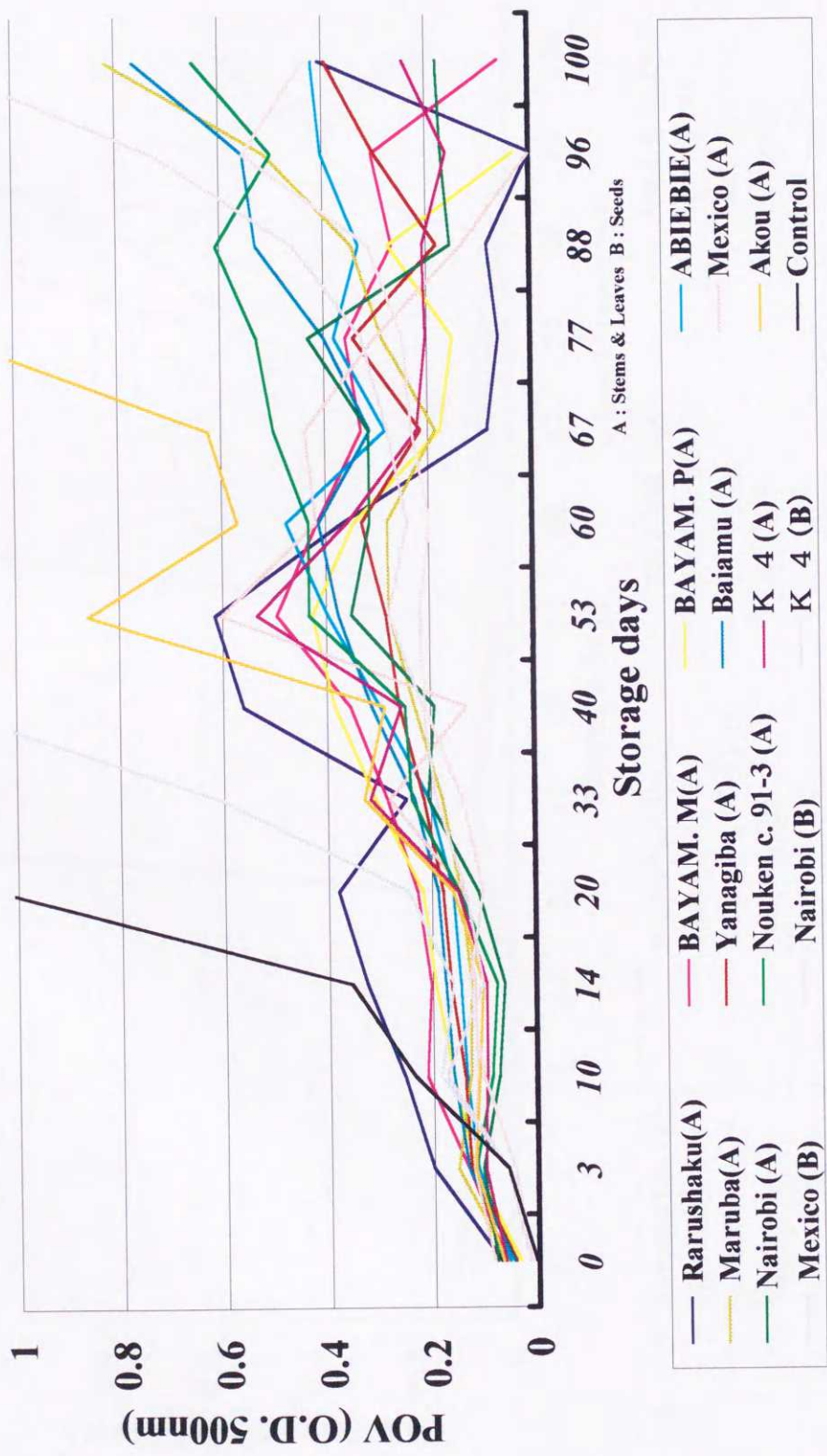
Variety	Mexico	Nairobi	Noutken c.91-3	K 4	Akou
62°C	2.6	2.8	3.1	2.5	2.8
72	7.7	9.1	11.0	17.4	16.4
82	10.5	12.9	12.3	19.0	18.0
93	9.3	12.3	13.0	18.9	19.0

**Table 25 Characteristics & sensory evaluation of biscuits made from amaranthus grain powders**

	Form		Sensory evaluation			
	Thickness (mm)	Weight (g)	Hardness	Flavor & Taste (point)	Surface & Color	Total Sense
Control	13.4 ±0.06	17.3 ±0.11	-	-	-	-
Mexico	11.2±0.10	17.2±0.16	2.74	2.66	2.72	2.66
Nairobi	12.0 ±0.08	17.4 ±0.39	2.73	2.50	2.78	2.55
Nouken c.91-3	11.6±0.08	17.0±0.14	2.88	2.57	2.83	2.67
K 4	12.1±0.06	17.9±0.15	3.41 <sup>a</sup>	3.09 <sup>a</sup>	3.90 <sup>a</sup>	3.40 <sup>a</sup>
Akou	11.6±0.08	17.3±0.18	3.36 <sup>a</sup>	3.09 <sup>a</sup>	3.38 <sup>b</sup>	3.31 <sup>a</sup>

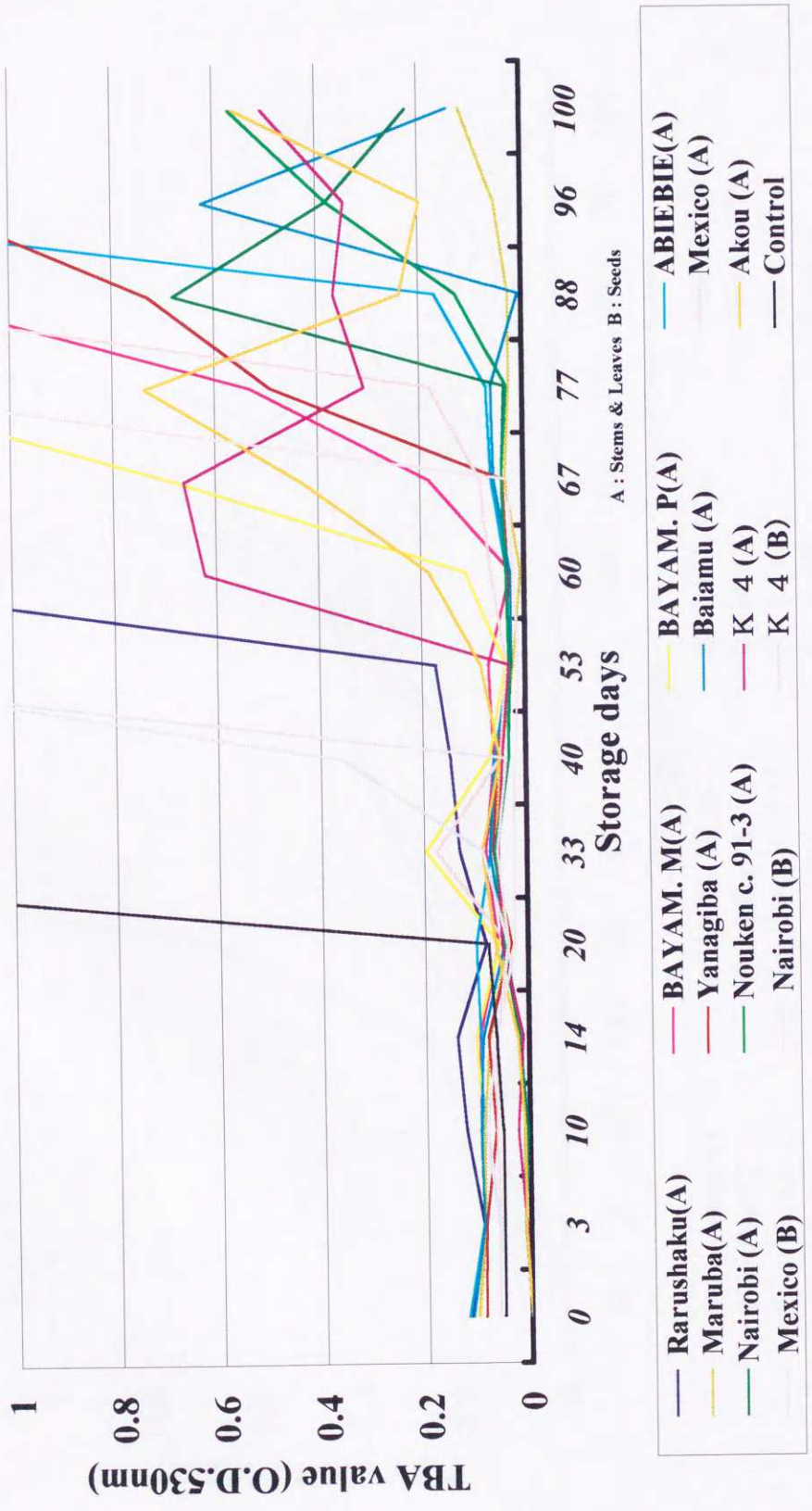
	Rheology (Breaking Property)		
	Breaking Stress (g)	Brittleness (g)	Hardness (dyn/cm <sup>2</sup> )
Control	2,189±511	2,293±547	2,501±546
Mexico	2,901±604 <sup>c</sup>	2,898±639 <sup>c</sup>	5,461±1,394 <sup>c</sup>
Nairobi	2,893±622 <sup>c</sup>	2,879±509 <sup>c</sup>	6,384±1,180 <sup>c</sup>
Nouken c.91-3	3,197±483 <sup>c</sup>	3,161±815 <sup>c</sup>	5,004±940 <sup>c</sup>
K 4	3,785±459 <sup>a,c</sup>	3,478±531 <sup>a,c</sup>	5,827±1,228 <sup>c</sup>
Akou	4,258±685 <sup>b,c</sup>	4,208±705 <sup>b,c</sup>	6,482±1,905 <sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup>: p < 0.05



**Fig. 1 Antioxidant activity of ether extract to linoleic acid**





**Fig. 2 Antioxidant activity of ether extract to linoleic acid**

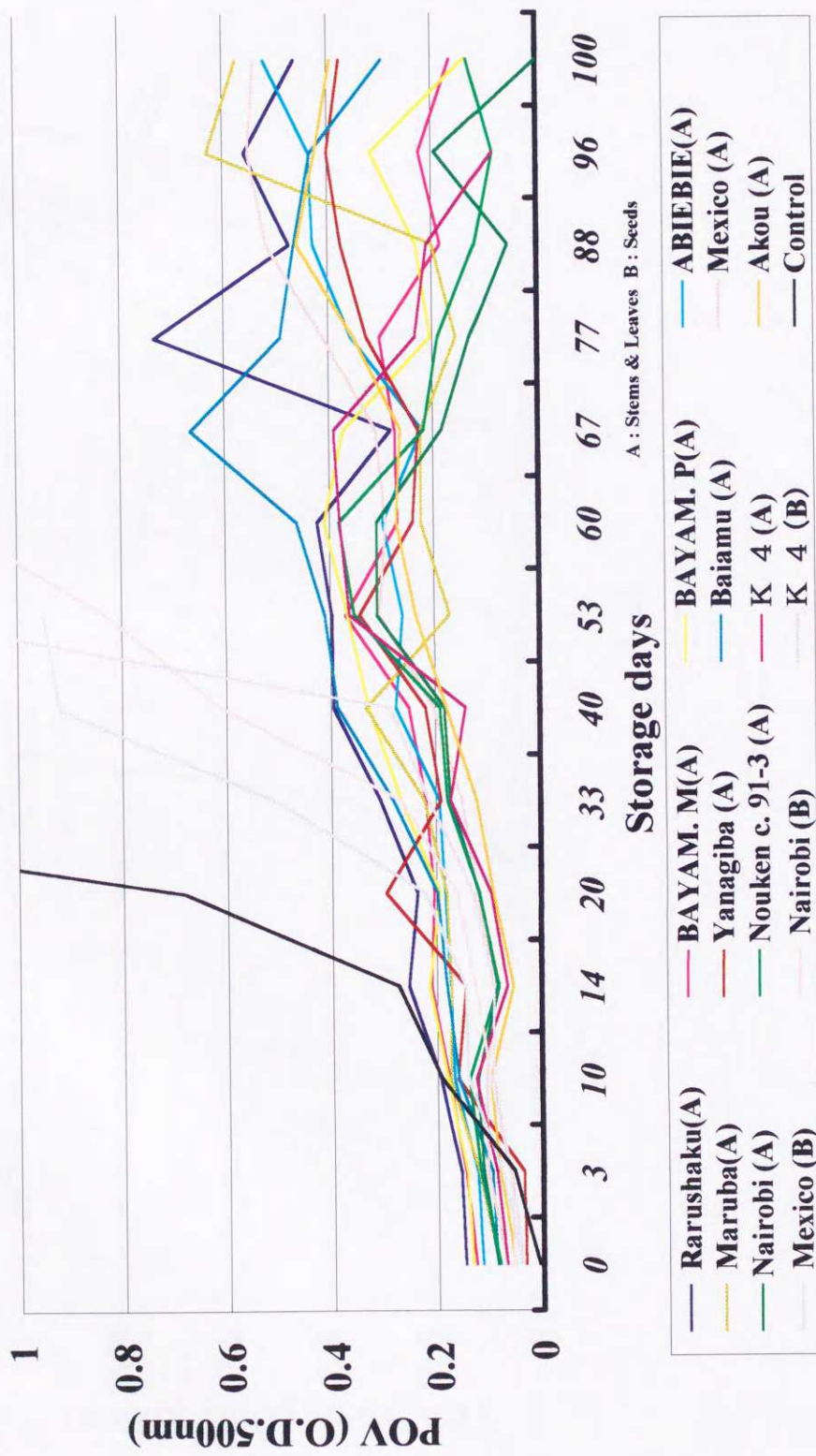


Fig. 3 Antioxidant activity of ethanol extract to linoleic acid



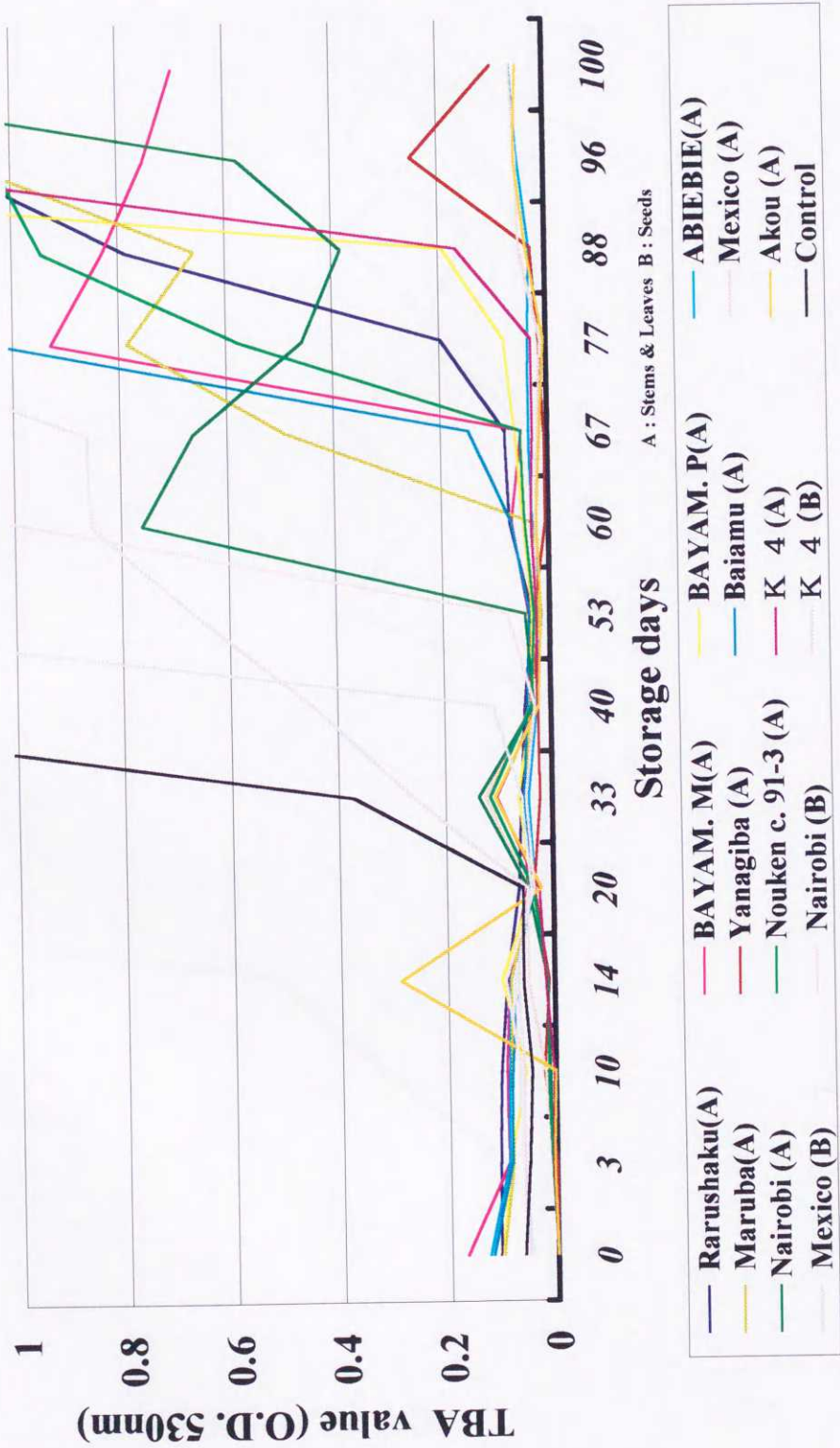
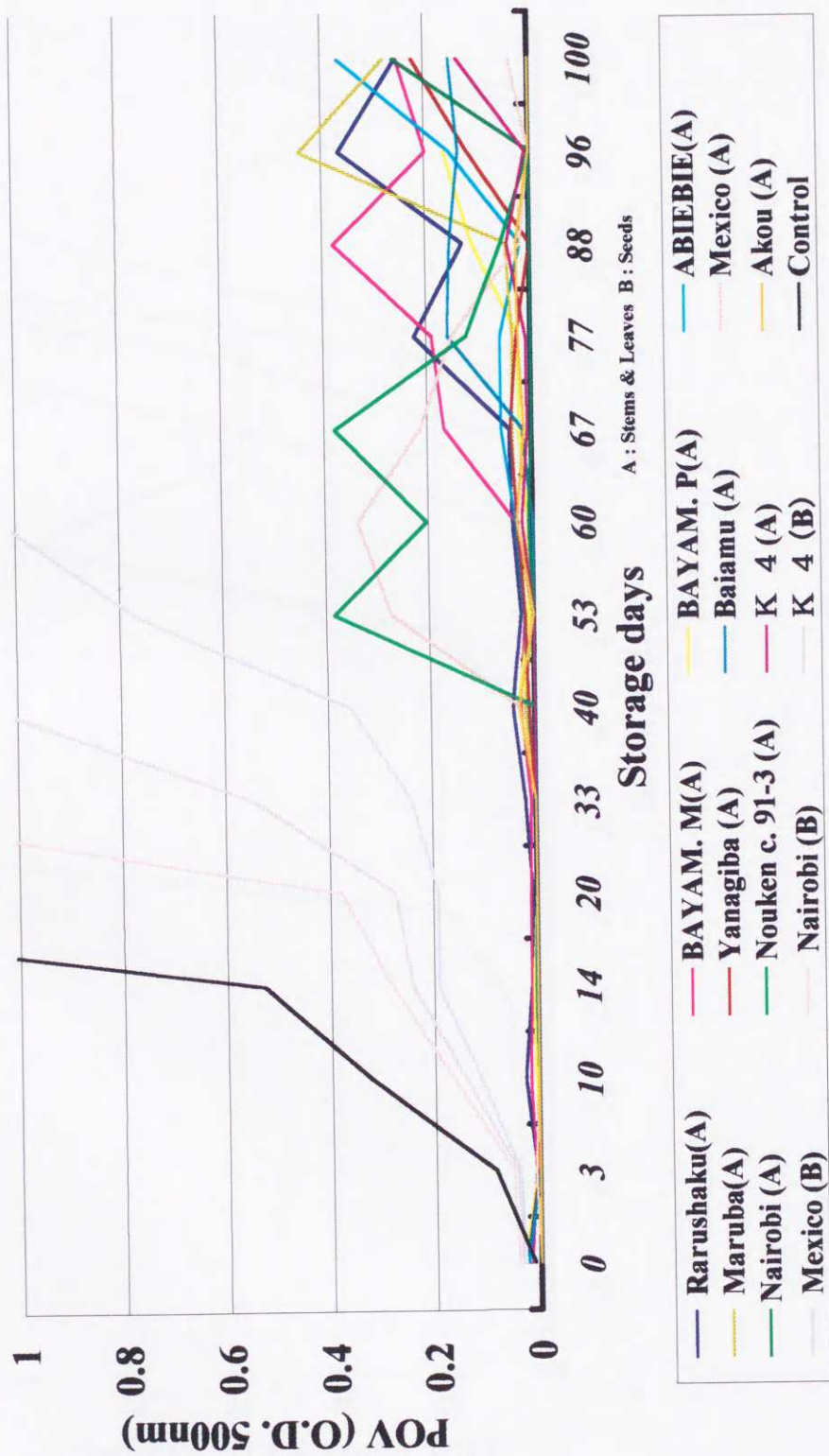


Fig. 4 Antioxidant activity of ethanol extract to linoleic acid



**Fig. 5 Antioxidant activity of water extract to linoleic acid**



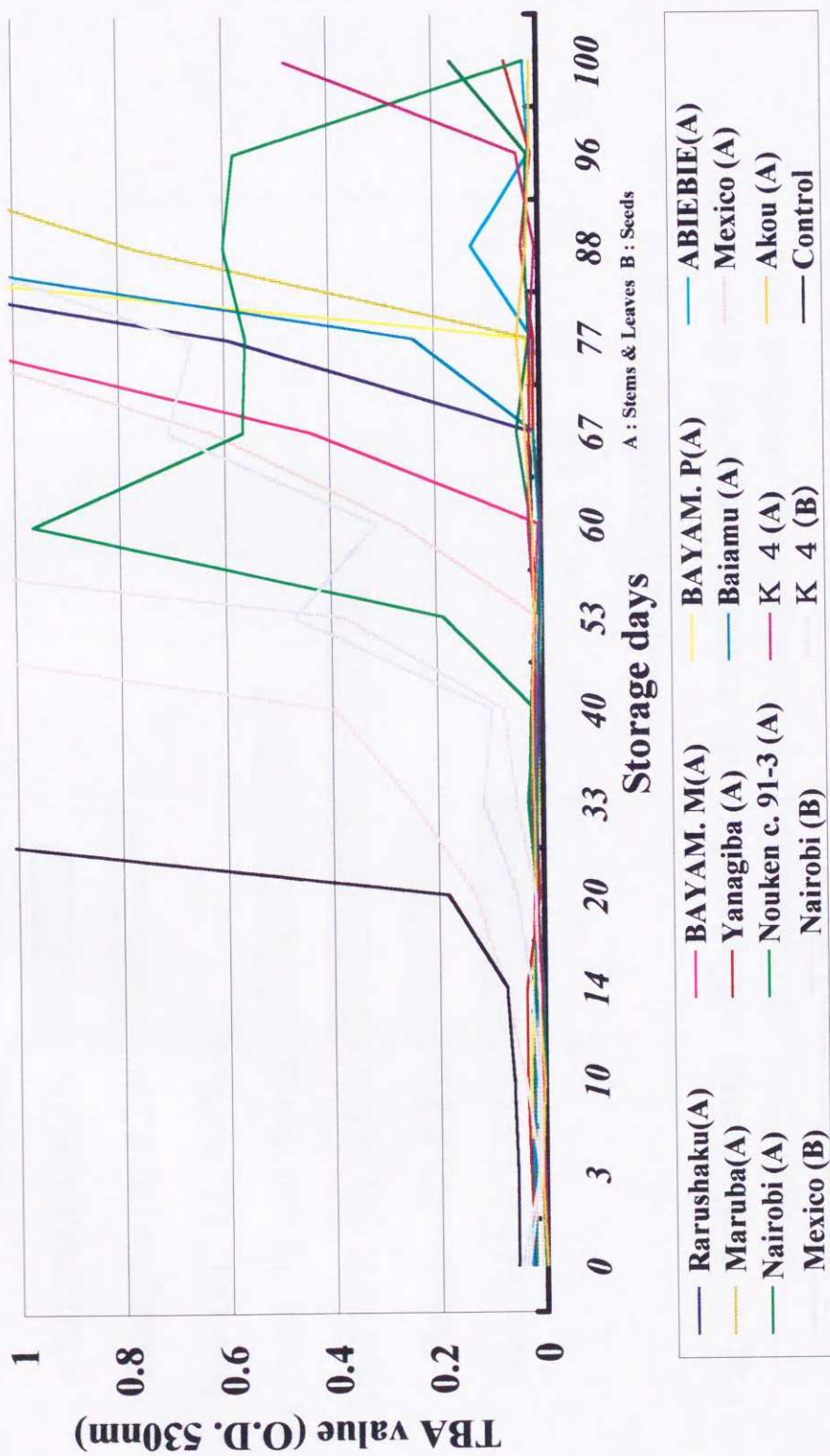


Fig. 6 Antioxidant activity of water extract to linoleic acid

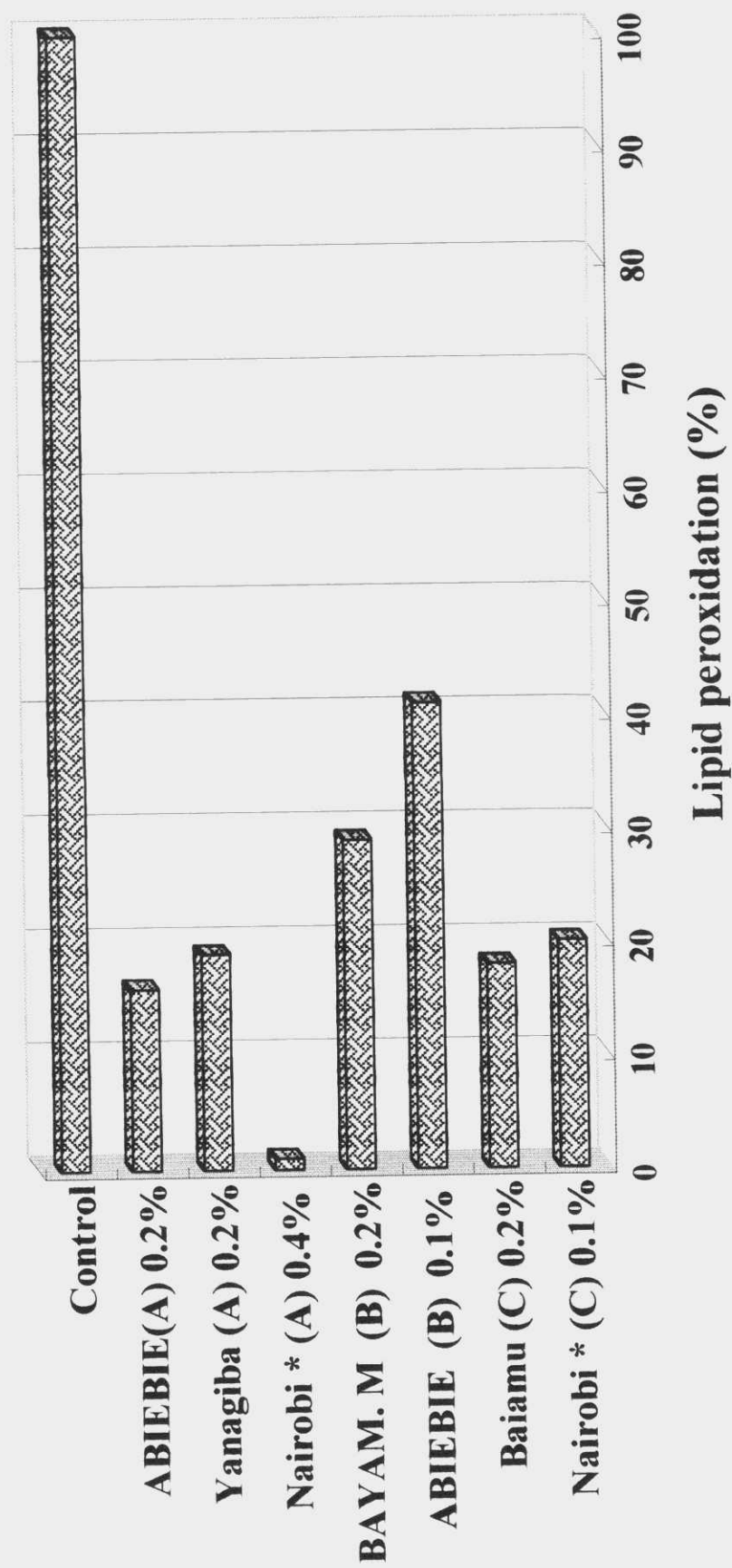


Fig. 7 Antioxidant activity of crude extract prepared from edible amaranthus as measured by thiocyanate method after incubation for 7 days

\* : Stems & Leaves A : water extract B : ethanol extract C : ether extract



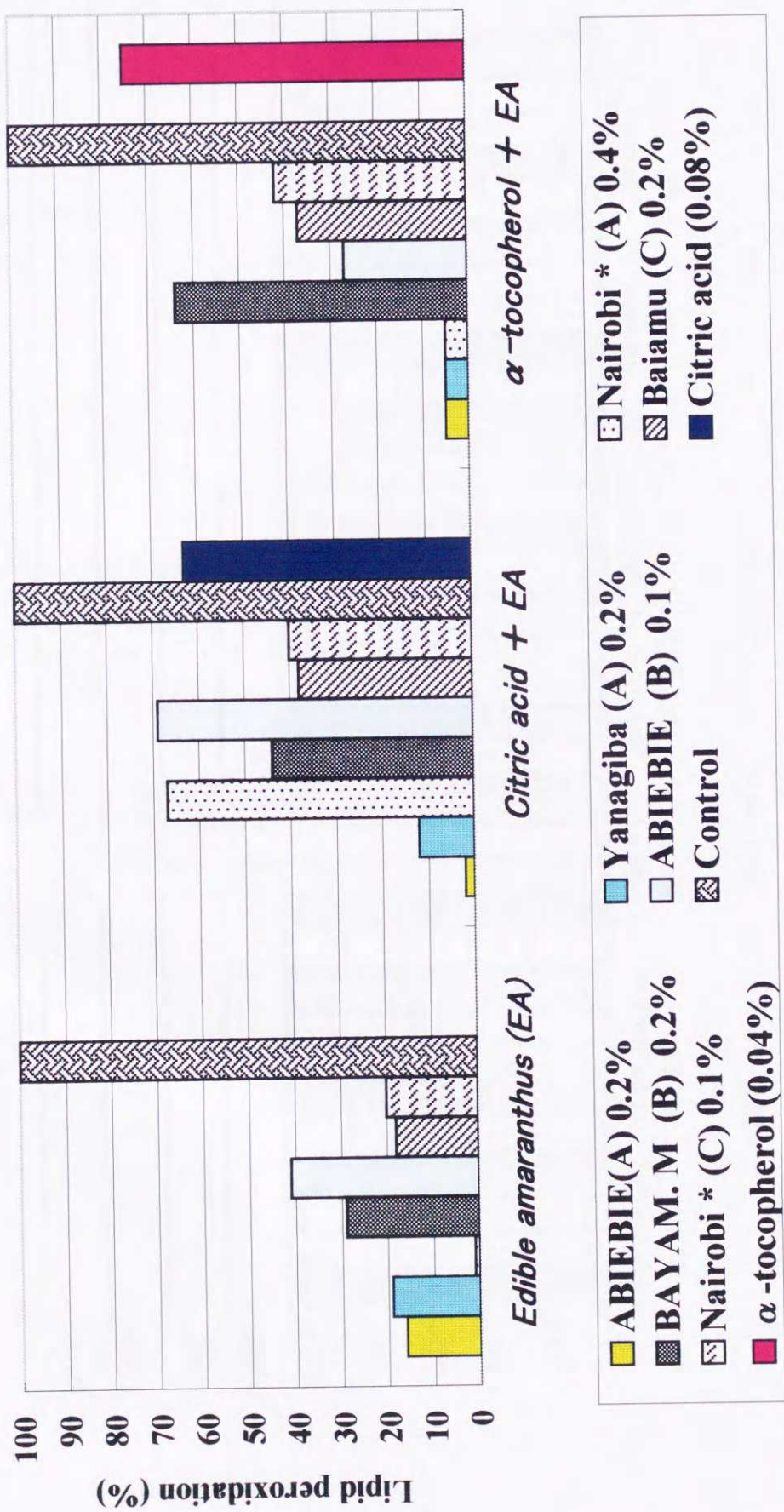
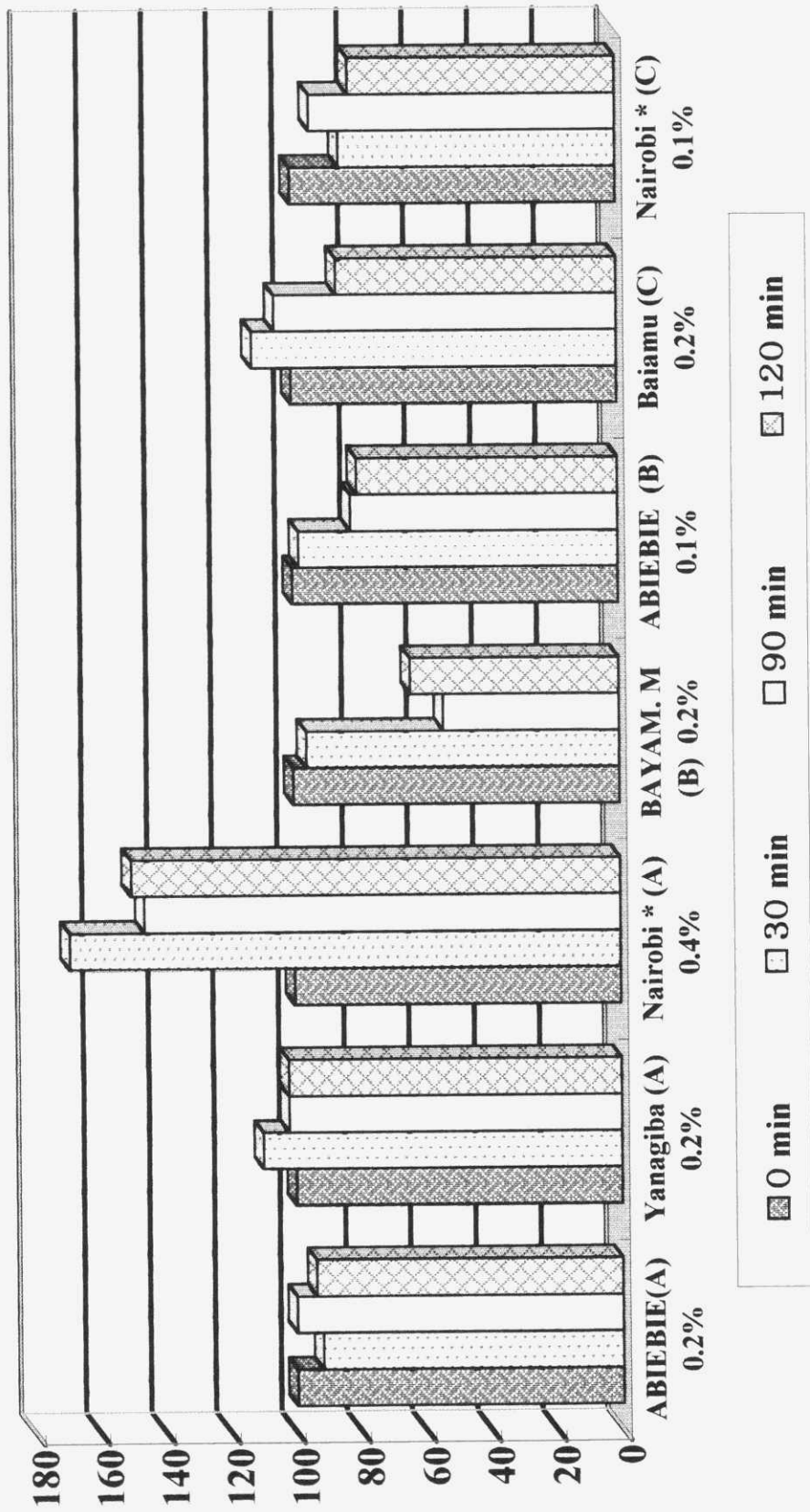
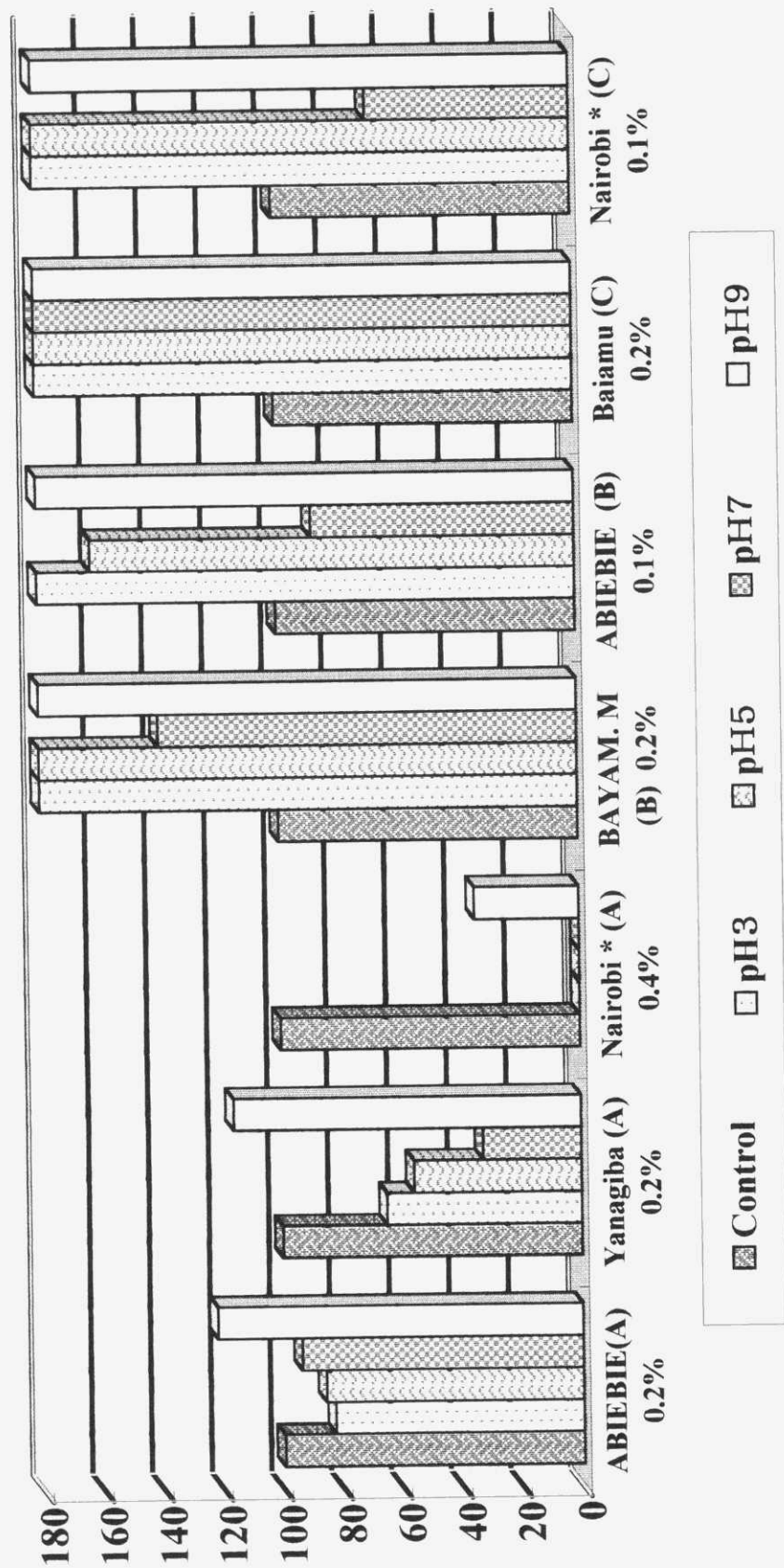


Fig. 8 Synergetic antioxidant activity of edible amaranthus extract with citric acid or  $\alpha$ -tocopherol as measured by thiocyanate method after incubation for 7 days \* : Stems & Leaves A : water extract B : ethanol extract C : ether extract



**Fig. 9 Effect of heat treatment on antioxidant activity of edible amaranthus extract as measured by thiocyanate method**

\* : Stems & Leaves A : water extract B : ethanol extract C : ether extract



**Fig. 10 Effect of pH on antioxidant activity of edible amaranthus extract as measured by thiocyanate method**  
 \* : Stems & Leaves A : water extract B : ethanol extract C : ether extract



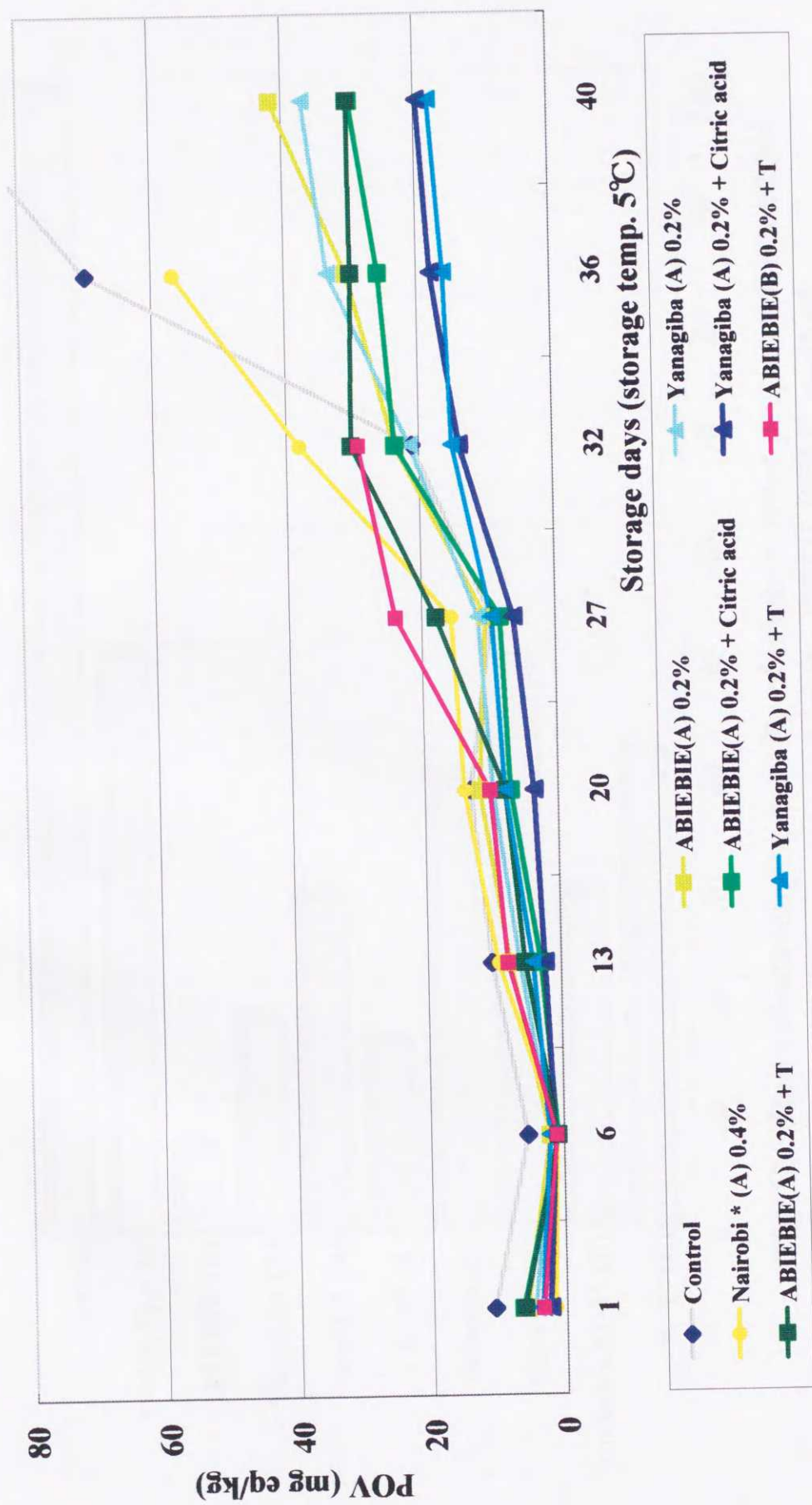
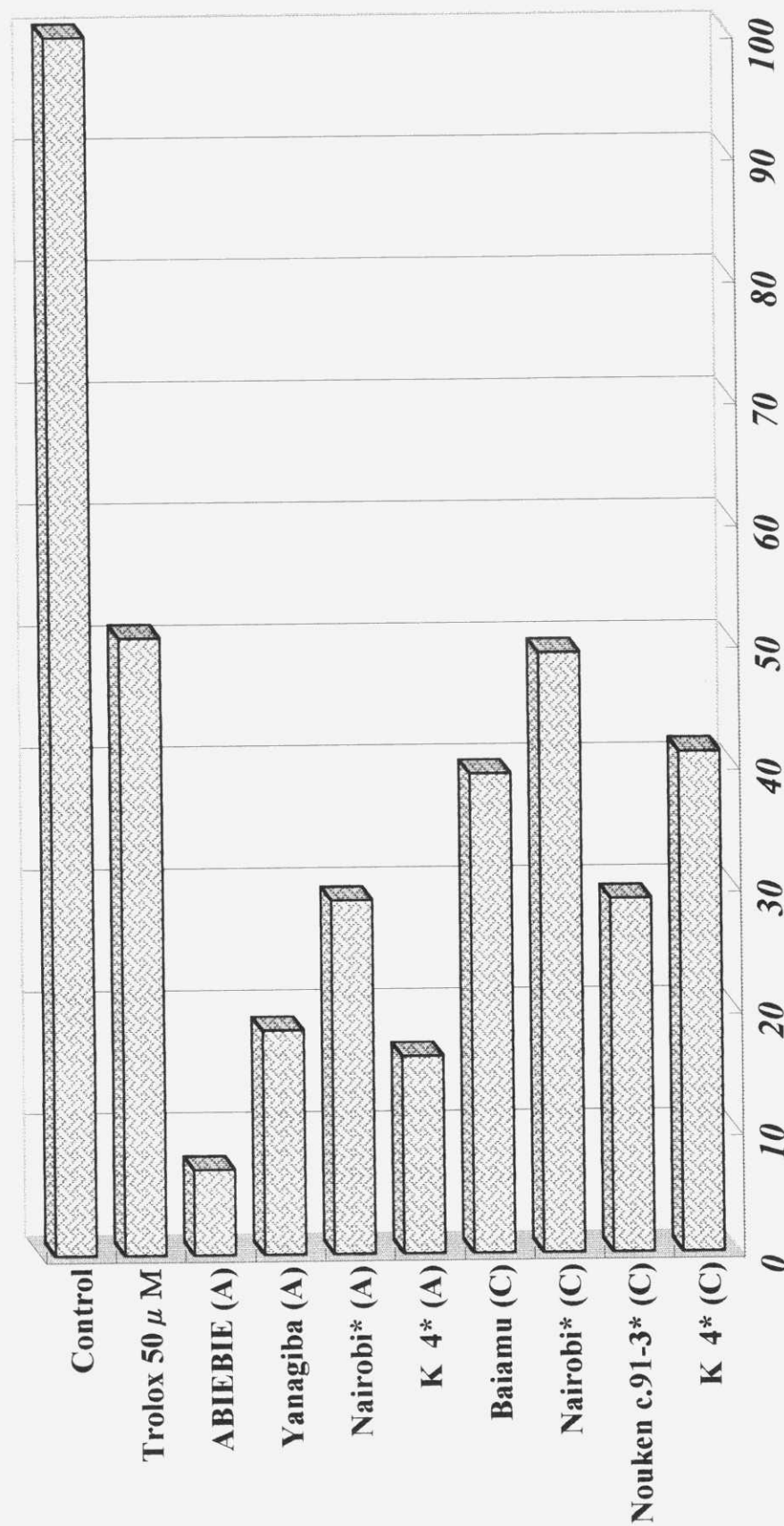


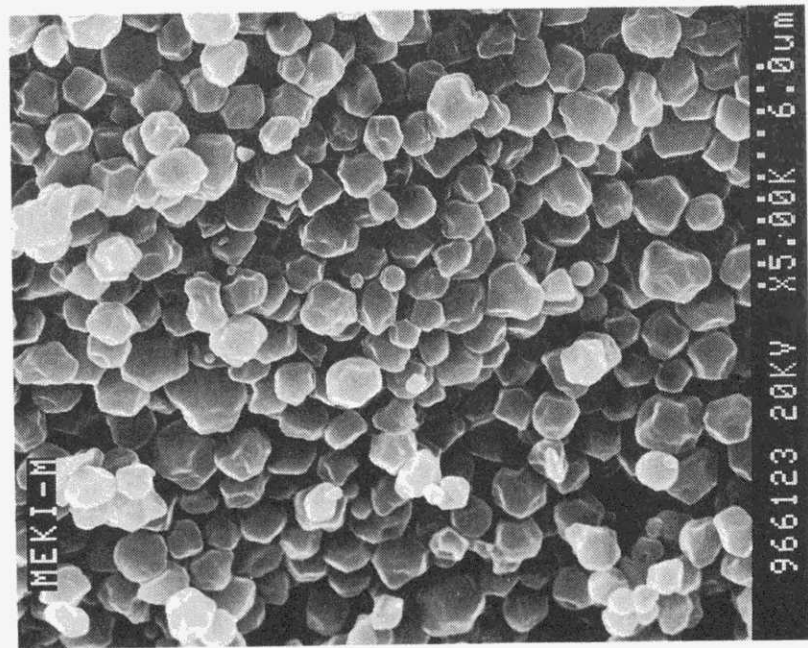
Fig. 11 Antioxidant activity of edible amaranthus extract with a minced pork model system

POV : Peroxide value \* : Stems & Leaves A : water extract B : ethanol extract T :  $\alpha$ -tocopherol

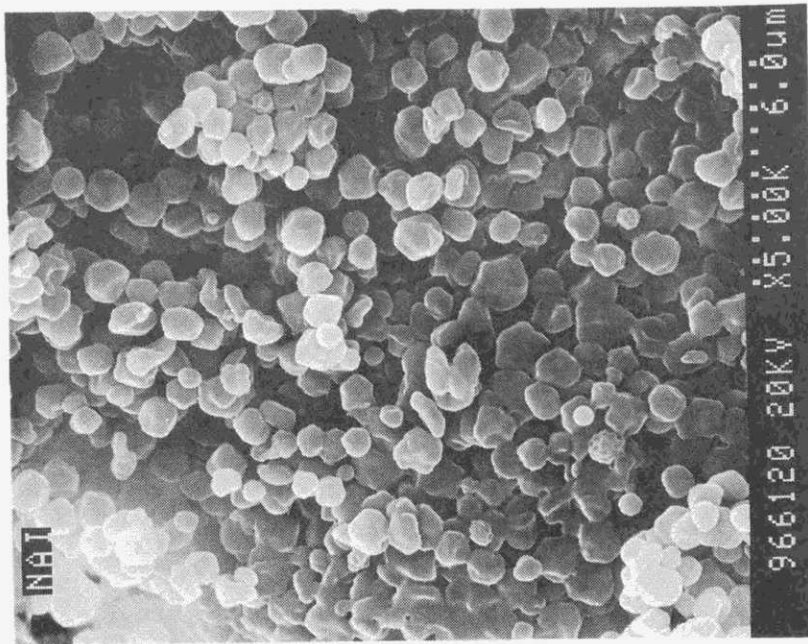


**Fig. 12** Radical-scavenging activity of crude extract prepared from edible amaranthus as measured by the DPPH-HPLC method

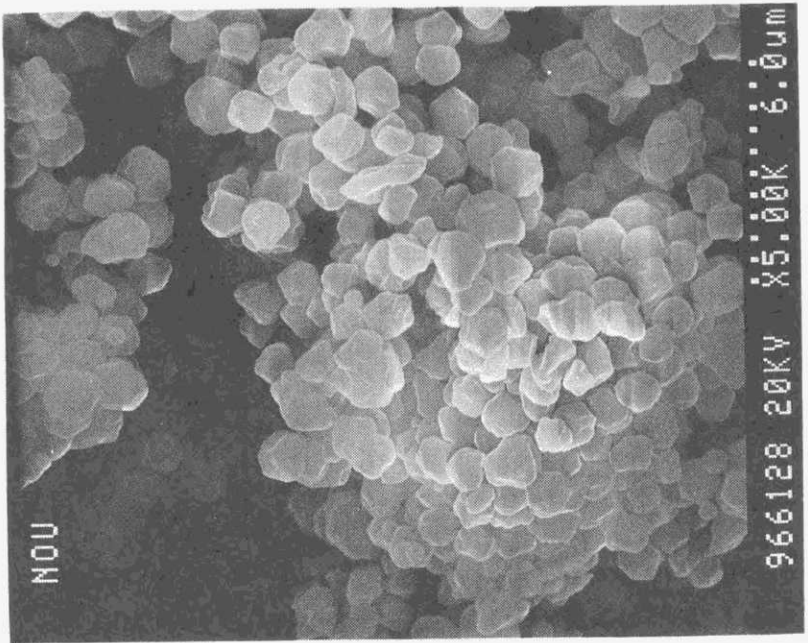
\* : Stems & Leaves A : water extract C : ether extract



Mexico



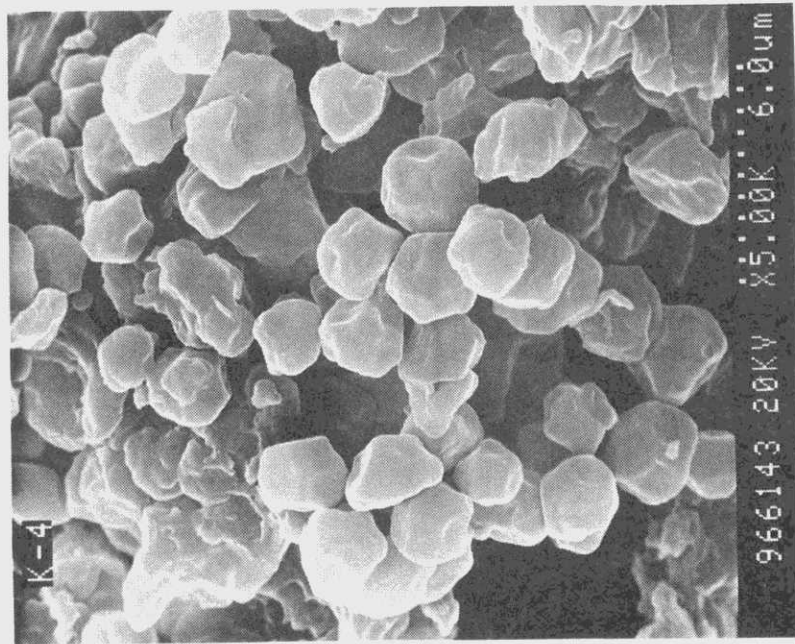
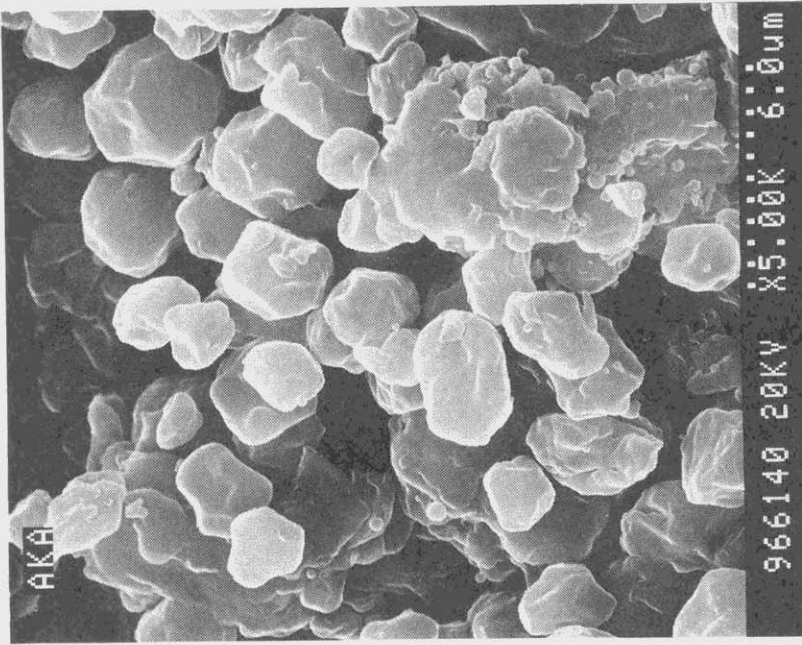
Nairobi



Nouken c.91-3

Fig. 13 -1 Scanning electron micrographs of amaranthus starch (5,000 ×)





K 4

Akou

Fig. 13 -2 Scanning electron micrographs of amaranthus starch (5,000 ×)

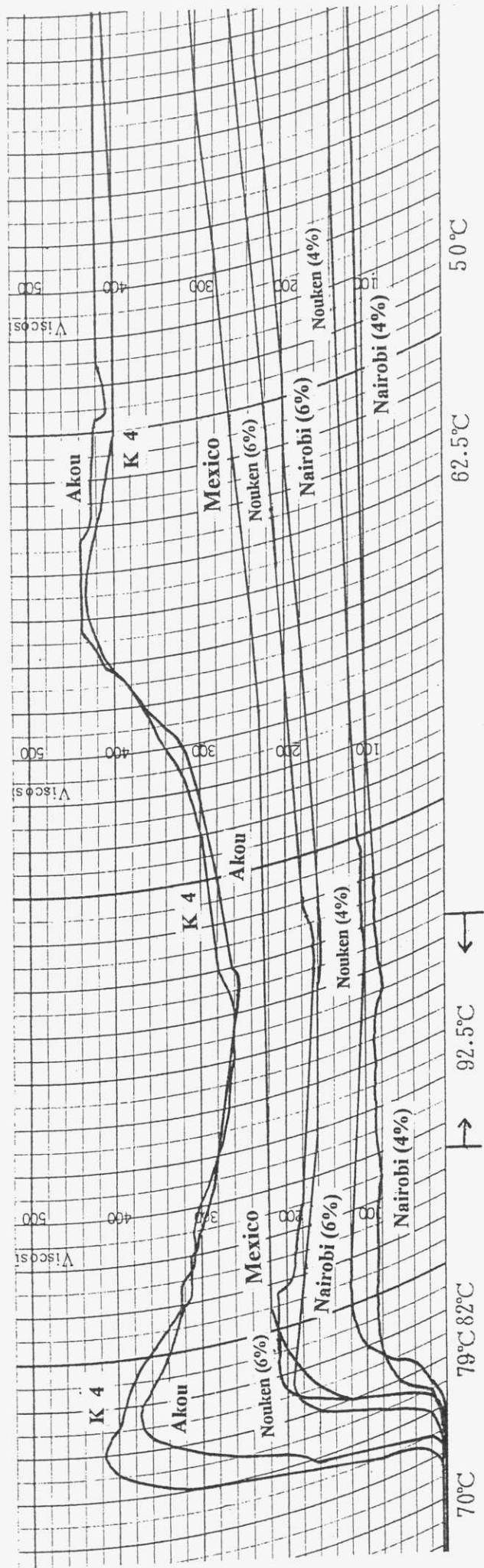
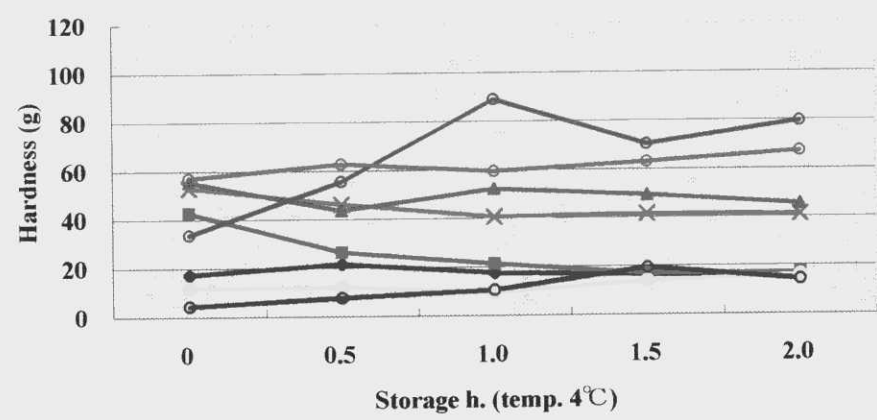
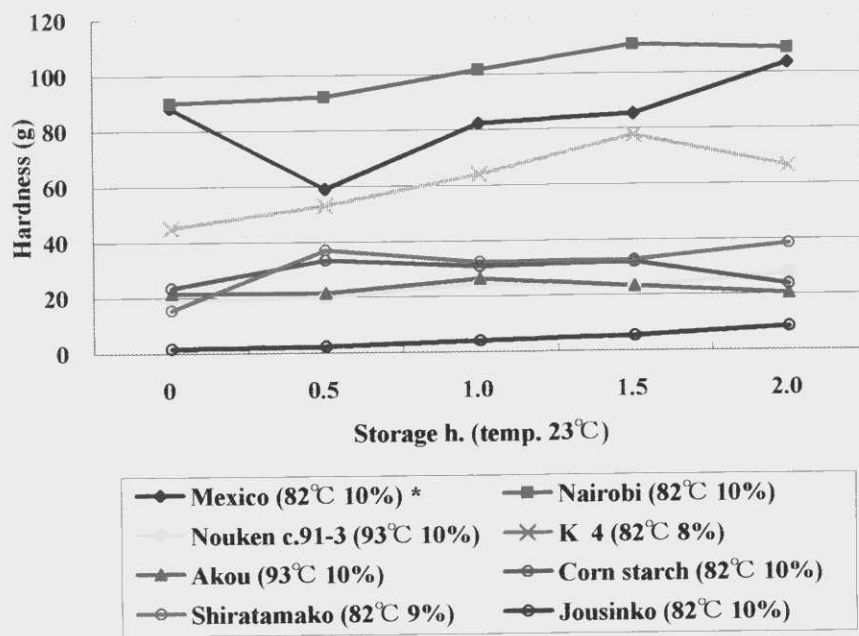


Fig. 14 Amylogram of amaranthus starch



**Fig.15 -1 Texture of swelled starch of amaranthus**  
 \* : gelatinized temp. & concentration

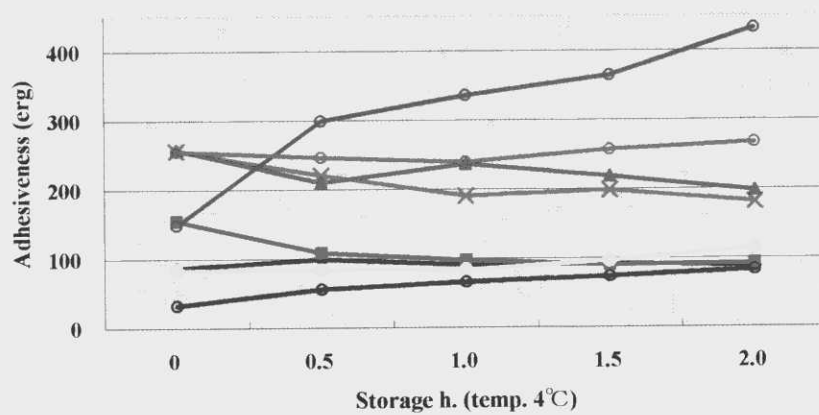
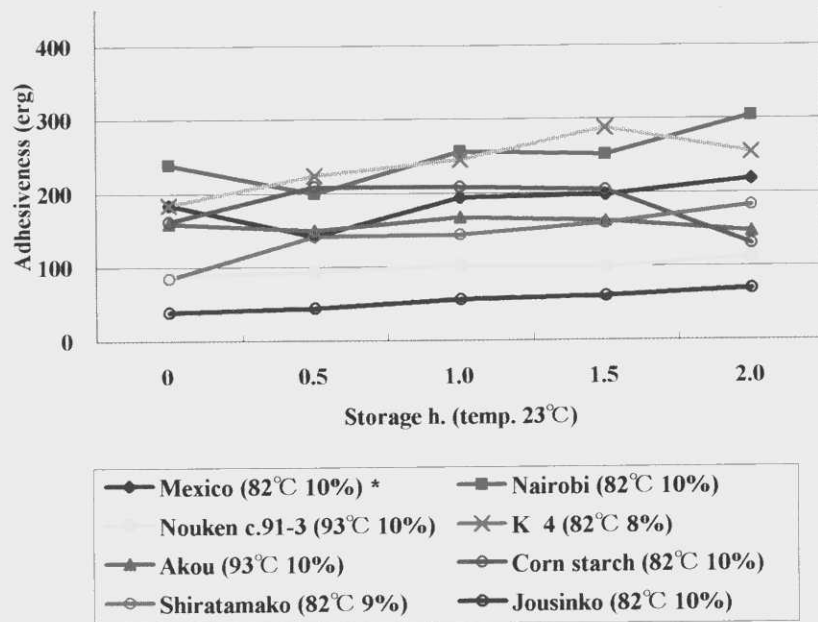


Fig.15 -2 Texture of swelled starch of amaranthus

\* : gelatinized temp. & concentration

