

## 食用アマランサスの普及・増産のための栽培 ・育種学的研究

生井 兵治 (筑波大学農林学系教授)

### 緒 言

ヒユ(Amaranthaceae)科のハゲイトウ(アマランサス)族植物には、アマランサス(ハゲイトウ; *Amaranthus*)属とケロシヤ(ケイトウ; *Celosia*)属の2属があり、英語では両属を合わせて“amaranth”(アマランサス)と呼んでいる。これら両属に属する世界の栽培植物としては、*Amaranthus*属植物についてみれば、子実用または葉菜用の *A. hypochondriacus*, や *A. caudatus*, *A. cruentus* などの他、鑑賞用の葉鶏頭(ハゲイトウ; *A. tricolor*, Ganges amaranth)などがある。子実用アマランサスは、アフリカ、中南米、アジアの開発途上国で古くからの重要な作物であり、中南米のインディオ達の主食であった。また、*Celosia*属植物には、鑑賞用または葉菜用としての *C. cristata*(ケイトウ、トサカケイトウ、フサゲイトウなど)と、*C. argentea*(ノゲイトウ)がある。ここで特に、*C. argentea*は、中央アフリカや西アフリカでは *A. cruentus*に次いで主要な葉菜のひとつとして利用されている<sup>1,2)</sup>。

アマランサスの葉にはビタミンCやカルシウム、鉄分などが大量に含まれ、さらに子実には蛋白質を15%も含有し、リジン含有率もコムギの約2倍であるなど、極めて高品質の作物であることがわかり、世界的にも徐々に注目されるようになってきた<sup>1,2)</sup>。しかし、アマランサスの栽培試験を試みしてみると、発芽温度が高いために筑波では5月下旬にならないと播種できず、かつ初期生長が遅いのでメヒシバなどの畑雑草に負けてしまううえ

に、開花・結実期に株の根本から倒伏しやすく、また立毛中の花穂から成熟子実が脱粒しやすく、系統によっては種子の休眠性があるなど、野生植物としての特徴である作物としての欠点をいくつももっている。

なお、アマランサスの植物学的特性として繁殖様式を受粉生物学的にみれば、*Amaranthus*属は雌雄異花(単性花)で、すべて風媒受粉植物である。一方、*Celosia*属植物は雌雄同花の両性花であり、変種によって風媒受粉と虫媒受粉とがある(Table 1)。すなわち、ニワトリの鶏冠(トサカ)のような花穂をつけるトサカケイトウ(*C. cristata*; Cockscomb)は、花粉媒介昆虫の訪花を受けず、完全な風媒受粉植物であるといわれている。しかし、フサゲイトウ(羽毛ケイトウ; *C. cristata* var. *plumosa*)は諸種の花粉媒介昆虫の訪花を頻繁に受ける虫媒受粉植物であり、ノゲイトウ(*C. argentea*)も虫媒受粉植物である。なお、これらの植物の花について付言すれば、*Amaranthus*属植物は雌蕊のみまたは雄蕊のみの単性花をつけ、これらの花は極めて小さく雄蕊先熟であるが、多数の小花が密生しており、自家和合性でかなり高い自殖性を示すといわれている<sup>1,2)</sup>。一方、*Celosia*属植物はいずれも雌蕊と雄蕊をもつ両性花をつけ、自家和合性であり、自殖性が高いといわれている。しかも、風媒受粉植物である *C. cristata*(トサカケイトウ)の花は小さく、虫媒受粉植物である *C. argentea*の花は大きい。

筆者は、1970年代よりソバ、アワ、シコクエビなど雑穀類の遺伝資源としての重要性を認識し、

**Table 1** Floral traits of cultivated species of genus *Amaranthus* and genus *Celosia*

Latin name (English name ; Japanese name)	Floral trait
A. hypochondriacus (Grain amaranth ; センニンコク)	SC, unisexual, wind-poll.
A. caudatus (Grain amaranth ; ヒモゲイトウ)	SC, unisexual, wind-poll.
A. cruentus (Vegetable amaranth ; ヨウサイヨウアマランサス)	SC, unisexual, wind-poll.
A. tricolor (Ganges amaranth ; ハゲイトウ)	SC, unisexual, wind-poll.
C. cristata (Common cockscomb ; ケイトウ, トサカケイトウ)	SC, bisexual, wind-poll.
C. cristata var. childii (ヤリゲイトウ)	SC, bisexual, insect-poll.
C. cristata var. plumosa (Feather cockscomb ; フサゲイトウ)	SC, bisexual, insect-poll.
C. argentea (“Sokoyokoto” ; ノゲイトウ)	SC, bisexual, insect-poll.
C. argentea var. linearis (イトゲイトウ)	SC, bisexual, insect-poll.

収集・保全・増殖と特性評価ならびに育種的利用に関する研究を続けており、アマランス遺伝資源についても1980年代後半より、収集・保全・増殖と特性評価ならびに積極的活用を図るための調査・研究を行っている。近年、アマランスが栄養的に優れた食料であることが知られるようになり、わが国でも子実用または葉菜用としてのアマランスが注目され、アマランス普及の動きがある。しかし、わが国ではアマランスの基礎的研究に乏しく、積極的な品種改良も行われていない。そこで、この度は、国民の健康に福音をもたらす食用アマランスの普及・振興を目標として、浦上食品・食文化振興財団の助成を受け、わが国に適した子実用および葉菜用アマランス品種を育成するための栽培・育種学的研究を行うことにした。すなわち、(1)低温下でも発芽して雑草に負けない低温発芽性系統の発掘、(2)結実した子実を無駄なく収穫して収量を高めるためにガンマー線照射ならびに培養技術利用による耐倒伏性・難脱粒性遺伝子の開発、(3)系統の安定した維持・増殖を図るための生殖生物学的・受粉生物学的解析の3課題

を中心に行うとともに、(4)近年、アマランスの研究と利用が進んでいる米国のアマランス事情を調査することにした。ここでは、紙数の都合で(1)と(2)を中心に報告する。

#### 1. *A. hypochondriacus*における低温発芽性系統の発掘

##### (1) 目的

これまで圃場試験に供してきたアマランス系統のAH-4(ネパール産ウルチ系統、1979年に坂本寧男氏導入)や、AH-6(メキシコ産モチ系統、1979年に林健一氏導入)などは、発芽温度が高く5月末播種でも初期生長が遅いために入念に除草しないと雑草に負けてしまう。そこで、環境の異なる地域で収集されたアマランス系統の発芽温度を調査し、低温発芽性系統の発掘を行うことにした。

##### (2) 材料および方法

国際植物遺伝資源理事会(IBPGR)のネパール探索隊によってネパール中東部の海拔1,000mから3,500m地点で1985年に収集されたアマランス遺伝資源のうち60点の原種子(中川原捷洋氏導

入)を供試した (Table 2)。発芽試験の温度は、発芽試験器 (人工気象器)を用いて10°C, 12.5°C, 15°C, 17.5°C, 20°Cの5水準とした。発芽床にはナーサリーテストバッグ (USA 特許製品)を用い、1バッグ当たり12粒ずつ置床して、10ccのイオン交換水を加えた。調査は、各温度条件における発芽勢、発芽率ならびに初期生長量について行い、発芽勢は3日目、発芽率と初期生長量は7日目に調べた。初期生長量については地上部 (胚軸から上)と地下部 (根部)の長さを測定し、各温度条件下の長さを20°C下の長さと比較することによって指数で表して解析した。

### (3) 結果と考察

Table 3に、各温度条件下における各海拔ごとの調査系統の発芽勢を示した。収集地点の海拔ごとの調査系統数が大幅に異なるので明確な結論は

下せない。しかし、最も高温区である20°C下の発芽勢は収集地点の各海拔ごとにとみると、3,000m以下のほとんどの系統は60%以上の発芽勢を示し平均発芽勢が約90%と高かったのに対し、3,000m以上の高地で収集された系統では発芽勢が40%以下の系統があり平均発芽勢は44.5%と低かった。一方、いずれの系統とも温度が低下するにつれて発芽勢は低下するが、12.5°C下でも60系統中8系統は80%以上の高い発芽勢を示し、10°C下でさえも60系統中5系統が最高40%までの発芽勢を示した。ただし、Fisherの正確確率検定法による検定の結果では、低温下にある発芽勢の高い系統の出現頻度には各海拔間に差異は認められなかった。

次に、Table 4に、各温度条件下における各海拔ごとの調査系統の発芽率を示した。発芽率については、発芽勢よりも明確な差異が収集地点の海

Table 2 Accessions and their collection sites of Nepalese Amaranthus for testing germination temperature

Altitude (m)	No. of Acc.	Acc. No. (collectio site)		
1,000	9	17 (Tatopane)	28 (near Polhara)	104 (Badhu)
		105 (Badhu)	106 (Kolti)	115 (Jilli)
		116 (Jilli)	119 (Fulaut)	120 (Fulaut)
1,500	11	1 (Nagale)	13 (Kabre)	27 (Ulleri)
		60 (Piplang)	61 (Darma)	78 (Ruga)
		80 (Nigale)	91 (Ripa)	103 (Faita)
		108 (Kalgothi)	110 (Kalgothi)	
2,000	20	6 (Kobang)	7 (Late)	20 (Chitre)
		22 (Ulleri)	32 (Melamche)	42 (Doda Phaya)
		45 (Thling)	47 (Dhara Bari)	53 (Chaugun Phaya)
		55 (Chaugun Phaya)	63 (Bephu)	64 (Rimi)
		72 (Ruma)	74 (Chaina)	75 (near Chaina)
		85 (Ghoda Sain)	86 (Pina)	95 (Deukhuri)
		97 (Jaila)	112 (Pandusen)	
2,500	17	15 (Kolo Pani)	31 (Tarkeghyang)	33 (Melamche)
		34 (Tarkeghyang)	37 (Ladebada)	38 (Ladebada)
		39 (Ladebada)	40 (Ladebada)	41 (Doda Phaya)
		50 (Kerma)	51 (Elbang)	66 (Gachaudra)
		67 (Banwa)	70 (Banwa)	82 (Chautha)
		83 (Burma)	94 (Kharotok)	
3,000	3	4 (Khinaga)	5 (Khing)	124 (Burounse)
-3,500				

**Table 3** Interspecific variations in germination rate of *Amaranthus* under different temperatures

Altitude (No. Acc.)	Temperature (°C)	Frequency distribution of g. r.						Mean (%)	
		0	1-20	20-40	40-60	60-80	80-100		
1,000m	20.0					2	7	90.7	
	-1,500m	17.5			1	3	5	80.6	
		15.0			2	3	1	3	62.0
	(9)	12.5	2	3	1		2	1	31.5
		10.0	8	1					0.9
1,500m	20.0					1	10	94.7	
	-2,000m	17.5			1	3	7	84.1	
		15.0	1	1	1	2	1	5	63.4
	(11)	12.5		2	3	2	2	2	47.0
		10.0	7	3	1				5.3
2,000m	20.0				2	2	16	88.8	
	-2,500m	17.5		1	2	2	1	14	76.3
		15.0	1	1	1	4	2	11	67.1
	(20)	12.5	7	2		7	3	1	35.4
		10.0	18	1	1				3.3
2,500m	20.0					4	13	89.7	
	-3,000m	17.5		1	2	2	12	82.4	
		15.0		1	5	1	10	75.0	
	(17)	12.5	2	2	2	4	3	4	52.0
		10.0	9	5	3				8.8
3,000m	20.0		1	1			1	44.5	
	-3,500m	17.5		1			2	50.0	
		15.0		2	1				16.6
	(3)	12.5	2	1					5.6
		10.0	3						0.0

抜間に見られた。すなわち、最高温区である20°C下の発芽率を収集地点の各海拔ごとにみると、3,000m以下のほとんどの系統は80%以上の発芽率を示し平均発芽率が約95%と高かったのに対し、3,000m以上の高地で収集された系統では発芽率が40%以下の系統があり平均発芽率は66.7%と低かった。一方、いずれの系統とも温度が低下するにつれて発芽勢は低下するが、12.5°C下でも60系統中42系統は80%以上の高い発芽率を示し、最低温度の10°C以下でさえも60系統中40系統が80%以上の高い発芽率を示した。そこで、10°C下でも80%以上の発芽率を示した系統の出現頻度を収集地点の海拔ごとにみると、1,500m以下の系統では9系統中7系統、2,000mまでの系統では11系統

中8系統、2,500mまでの系統では20系統中12系統、3,000mまでの系統では17系統中13系統が、いずれも80%以上の高い発芽率を示した。しかし、3,000m～3,500mの地点で収集された3系統は10°C下では40%以下と低い発芽率しか示さなかった。ただし、Fisherの正確確率検定法による検定の結果では、10°C以下における発芽率の高い系統の出現頻度には各海拔間に差異は認められなかった。同様に、12.5°C下で15°C下でも低温発芽性系統の出現頻度には統計学的な差異は認められなかった。

海拔によっては調査点数が極めて少なく、各海拔ごとの調査点数が大きく異なるために、以上の調査結果から標高差と低温発芽系統の出現頻度と

**Table 4** Intervarietal variations in germination percentage of *Amaranthus* under different temperatures

Altitude (No. Acc.)	Temperature (°C)	Frequency distribution of g. r.						Mean (%)	
		0	1-20	20-40	40-60	60-80	80-100		
1,000m	20.0						9	95.4	
	-1,500m	17.5					9	95.4	
		15.0					9	97.2	
	(9)	12.5					2	7	93.5
		10.0					2	7	86.1
1,500m	20.0					1	10	96.2	
	-2,000m	17.5				3	8	89.4	
		15.0			1	2	8	8	88.6
	(11)	12.5				3	8	8	90.2
		10.0			2	1	8	8	84.1
2,000m	20.0				1	1	18	94.6	
	-2,500m	17.5		2	2	1	15	83.8	
		15.0		1	1	1	2	15	84.2
	(20)	12.5		2		2	3	13	79.2
		10.0		2	2	1	3	12	75.4
2,500m	20.0					1	16	94.1	
	-3,000m	17.5				1	16	86.8	
		15.0			2	2	13	13	88.2
	(17)	12.5		1	2		14	14	85.8
		10.0	1	1	2		13	13	81.9
3,000m	20.0			1			2	66.7	
	-3,500m	17.5		1			1	55.5	
		15.0		1		1	1	1	44.4
	(3)	12.5	1		1		1		36.1
		10.0	1	1	1				16.7

の関係を明確に論ずることはできない。しかし、データの的には、2,000m～3,000mの高地で栽培されているアマランサスには発芽温度に関して幅広い変異がみられ、10度下でも80%以上の高い発芽勢と発芽率を示す系統から、20°C下では80%以上の高い発芽率を示すが15°C以下の低温下では発芽率が半減する系統までが見られることが分かった。

発芽勢と発芽率については以上の通りであるが、初期生長についてみると、Table 5に初期生長速度としての植物体長（地上部+地下部）、Table 6にT/R比（地上部/地下部比）を示した通りである。また、Table 7に発芽勢と初期生長速度との相関を示した。

すなわち、平均植物体長についてみると、20°C下では海拔3,000mまでの地点で収集された系統のは約70mmであったが、3,000m以上のものは約60mmであった。低温下における植物体長についてみると、2,000mから3,000mの地点で収集された系統には15°C下でも20°C下と変わらない生長を示す系統がみられた。しかし、12.5°C下では、いずれの系統とも生長が著しく遅延し、平均植物体長では20°C下に比べて20～30%程度の生長量しか示さなかった。

幼植物のT/R比についてみると、1,500m以下の地点で収集された系統では20°C下でもすべて1.00以下であったが、1,500m以上の地点で収集された系統には15°C下でも1.00以上の値を示すも

**Table 5** Intervarietal variations in seedling length (top+root) of *Amaranthus* under different temperatures<sup>1)</sup>

Altitude (No. Acc.)	Temperature(°C)	Frequency distribution of s. l.				Index (%)		
		<20	20-40	40-60	60<			
1,000m	20.0			1	8	71.7	100.0	
	-1,500m (9)	17.5		5	4	58.8	82.0	
		15.0		5	4	40.9	57.0	
		12.5	1	8		23.0	32.0	
1,500m	20.0			2	9	70.1	100.0	
	-2,000m (11)	17.5		5	6	64.7	92.3	
		15.0		3	8	46.5	66.4	
		12.5	2	9		26.9	38.4	
2,000m	20.0			2	18	65.8	100.0	
	-2,500m (20)	17.5		1	13	57.1	86.9	
		15.0		6	13	1	44.2	67.2
		12.5	6	14		25.9	39.4	
2,500m	20.0			2	15	68.8	100.0	
	-3,000m (17)	17.5		13	4	57.6	83.7	
		15.0		3	13	1	47.6	69.2
		12.5	2	15		28.1	40.9	
3,000m	20.0			1	2	61.0	100.0	
	-3,500m (3)	17.5		3		50.9	83.1	
		15.0		2	1		35.9	58.9
		12.5 <sup>2)</sup>	1	1		19.3	31.7	

<sup>1)</sup> All date were measured on seven days after sowing.

<sup>2)</sup> Only two accessions could be observed.

のがみられた。T/R比が大きいということは、相対的に地下部の生長が劣っていることを意味する。また、いずれの海拔地点から収集された系統においても、T/R比は気温が低下するにしがって小さくなくなることが観察された。しかし、気温の低下によって生じるT/R比の変化について、20°C下の値を100として指数で比較すると、収集地点の海拔による差異はとくに認められなかった。

そこで、発芽勢と初期生長速度との相関を収集地点の海拔ごとにみると(Table 7)、海拔1,500m以下の地点で収集された系統については12.5°C~17.5°Cの範囲では1%または5%水準で有意な正の相関がみられるので、発芽勢が高ければ地上部の初期生長が良いことが分かった。1,500m~3,000mの地点で収集された系統でも、12.5°C~15°Cの範囲では発芽勢が高ければ地上部の初期生

長が良いことが分かった。特に2,500m~3,000mの系統では、12.5°C~15°Cの範囲での地上部・地下部ともに高い正の相関みられ、地上部長と地下部長の和である植物体長との間にも高い正の相関がみられた。

以上、ネパールのアマランサス60点の調査結果から、少なくとも10°C以下でも80%以上の発芽勢と発芽率を示す系統が8点あることが分かった。さらに、2,500m~3,000mの地点で収集された系統では、12.5°C~15°Cの温度で発芽させたときに発芽勢と初期生長力との間に高い正の相関がみられ、そうした温度条件下でも80%以上の高い発芽勢と発芽率を示す系統が多く見られた。したがって、今後これらの系統について他の農業特性を調べたり、これらの低温発芽性の遺伝機構を調べることによって、低温発芽性アマランサス育種の発展に役立てたいと考えている。

**Table 6** Intervarietal variations in Top/Root ratio (T/R ratio) of *Amaranthus* under different temperatures<sup>1)</sup>

Altitude (No. Acc.)	Tempera- ture(°C)	Frequency distribution of T/R ratio				Index (%)	
		<0.6	0.6-0.8	0.8-1.0	1.0<		
1,000m	20.0	1	2	6	0.76	100.0	
-1,500m (9)	17.5	2	7		0.67	87.6	
	15.0	6	3		0.54	70.5	
	12.5	9			0.45	56.5	
1,500m	20.0		1	6	4	1.00	100.0
-2,000m (11)	17.5	5	6		0.63	63.0	
	15.0	6	3	1	1	0.61	60.8
	12.5	11			0.42	42.1	
2,000m	20.0		6	9	5	0.88	100.0
-2,500m (20)	17.5	2	11	4	3	0.79	90.5
	15.0	9	6	5		0.65	74.3
	12.5	19	1		0.45	51.8	
2,500m	20.0		4	12	1	0.86	100.0
-3,000m (17)	17.5	1	4	10	2	0.85	98.8
	15.0	5	12		0.62	72.7	
	12.5	14	3		0.48	55.7	
3,000m	20.0		1	1	1	0.91	100.0
-3,500m (3)	17.5		2		1	0.88	96.2
	15.0		2	1		0.72	78.8
	12.5 <sup>2)</sup>	2			0.31	34.2	

<sup>1)</sup> All data were measured on seven days after sowing.

<sup>2)</sup> Only two accessions could be observed.

**Table 7** Intervarietal variations in correlation coefficient between germination rate and seedling growth rate of *Amaranthus* under different temperatures<sup>1)</sup>

Altitude (No. Acc.)	Tempera- ture (°C)	Correlation coefficient		
		with Top	with Root	with (T+R)
1,000m	20.0	-0.0536	0.3534	0.0551
-1,500m (9)	17.5	0.8123** <sup>2)</sup>	0.8564	0.8698**
	15.0	0.8080**	0.6126	0.8129**
	12.5	0.7188*	-0.1176	0.7767*
1,500m	20.0	0.4189	0.3186	0.3244
-2,000m (11)	17.5	0.2114	0.5685	0.5447
	15.0	0.6443*	0.8471**	0.9221**
	12.5	0.7783**	0.0287	0.7967**
2,000m	20.0	-0.0107	0.2254	0.1445
-2,500m (20)	17.5	0.2634	0.0793	0.1046
	15.0	0.5104*	-0.1090	0.7575**
	12.5	0.5382**	0.3460	0.9001**
2,500m	20.0	0.0469	0.0810	0.0949
-3,000m (17)	17.5	0.1272	0.3041	0.2831
	15.0	0.6949**	0.7223**	0.7409**
	12.5	0.6754**	0.5304**	0.6376**

<sup>1)</sup> All data were measured in seven days after sowing.

<sup>2)</sup> \* Significant at the 5% level. \*\*Significant at the 1% level.

## 2. *A. hypochondriacus* 他のアマランサス属 と *Celosia cristata* 他ケロシヤ属の栽培 植物における耐倒伏性・難脱粒性遺伝子 の開発のための基礎的研究

### (1) 目的

緒言でも述べたとおり、アマランサスは開花・結実期に株の地際から倒伏しやすく、また立毛中の花穂から成熟種子が脱粒しやすいため、野草の特徴をそなえており、作物としての欠点がある。しかし、これに対応できる良質の遺伝資源がない。

そこで、放射線照射ならびに培養技術を利用したアマランサスの突然変異育種に関する基礎的研究を行うことにした。ここでは、まずガンマー線種子照射による後代検定の結果を中心に論じ、あわせて培養技術利用のための培養条件の検討結果について簡単に報告したい。すなわち、アマランサスのガンマー線種子照射試験については、従来ごく少数の系統を用いた調査があるだけで、多数の系統を用いた研究はない<sup>3)</sup>。そこで、初めにアマランサス類の2種合計15系統を供試して適正照射線量を明らかにする研究を行い、その後特定の系統について後代検定を行った。また、近年における組織培養技術の目ざましい発展の割には、アマランサス培養研究は少なく、見るべき進展がない<sup>4)</sup>。そこで、アマランサス属3種とケロシヤ属2種の合計5種15系統を供試して適正な滅菌方法と培地の検討ならびに、組織培養能の種・品種間差異を調査した。

### (2) ガンマー線種子照射における適正線量の 確定

#### (a) 材料および方法

筆者の保存系統の中からアマランサス属の2種合計15系統を供試した (Table 8)。各系統の気乾種子に 250kGy/day の線量率として、総線量 0 kGy, 250kGy, 500kGy, 750kGy, 1,000kGy, 1,250 kGy の6線量区を設けて照射した。放射線感受

性は、20℃の恒温器内でナーサリーテストバッグによる発芽試験ならびにガラス室内での箱播きによる栽培試験によって調査した。すなわち、恒温器内による調査は各系統の各処理区12粒ずつの3反復として、発芽勢は置床後3日目、発芽率は7日目に調査した。置床後2週間目に、個体ごとの草丈と根長を測ることによって、初期生長の目安とした。また、ガラス室内の箱播き栽培試験は、これらの供試系統のうち2種9系統について行い、各系統の処理区当たり100粒を播種し、播種後7日目に発芽率を求め、その後1週間ごとに生存率と草丈を調査するとともに、開花後に花粉粘性を酢酸カーミン液による染色法で調べ、放射線感受性の目安とした。

#### (b) 結果および考察

アマランサスのガンマー線種子照射における適正照射線量を定めるために行った今回の試験は、当初、Table 8 に示した2種15系統を供試して行った。しかし、象牙海岸産 (実験番号3) とタンザニア産 (実験番号4) の2系統の種子は休眠が深く、0kGy照射区でも発芽率が極めて低かったため、以後の調査からは除外した。Table 9 は、恒温器内における発芽勢・発芽率ならびに、初期生長量としての草丈と根長の調査結果を示したものである。この表によれば、アマランサス属2種合計13系統のガンマー線種子照射による各調査項目の値が0kGy照射区に比べて半減する総線量の値は、以下の通りである。①発芽勢については、*A. hypochondriacus* では約1,250kGy、*A. caudatus* では約500kGy で *A. hypochondriacus* の方が放射線感受性が低く、②発芽率についても、*A. hypochondriacus* では1,250kGy以上であるのに、*A. caudatus* では750kGy~1,000kGyの間であった。また、③草丈については、*A. hypochondriacus*、*A. caudatus* とともに1,250kGy以上であったが、③根長については、*A. hypochondriacus* では約750

**Table 8** Materials for gamma-ray irradiation test of air-dried *Amaranthus* seeds

Species	Exp. No.	Origin	(1)	(2)	(3) <sup>1)</sup>
<i>A. hypochondriacus</i>	1	Mexico	○	○	○
	2	Mexico	○	○	○
	3	Ivory coast			
	4	Tanzania			
	5	Tanzania	○	○	○
	6	Nepal	○	○	
	7	Mexico	○	○	○
	8	Nepal	○	○	
<i>A. caudatus</i>	9	Japan	○	○	○
	10	Nepal	○		
	11	Nepal	○		
	12	Nepal	○		
	13	Nepal	○	○	○
	14	Nepal	○	○	○
	15	Nepal	○		

<sup>1)</sup> (1) : tested by nursery seed test bags in biotron.

(2) : tested by artificial soil beds in greenhouse.

(3) : do., especially for pollen fertility.

**Table 9** Germination rate, germination percentage and seeding size of gamma-ray irradiated air-dried 13-accession seeds of two *Amaranthus* species (tested in biotron)

Item	Total dose (kGy)	<i>A. hypochondriacus</i> (6)		<i>A. caudatus</i> (7)	
		Mean ± s.e.	Index	Mean ± s.e.	Index
Germination rate (%)	0	65.2 ± 14.2	100.0	58.7 ± 5.8	100.0
	250	58.5 ± 11.3	96.2	42.6 ± 6.0	71.3
	500	48.2 ± 8.6	77.3	28.6 ± 7.5	48.1
	750	47.3 ± 7.6	84.8	29.1 ± 7.0	50.9
	1,000	42.0 ± 9.2	66.2	15.0 ± 5.1	25.1
	1,250	31.8 ± 9.0	47.7	10.7 ± 3.6	19.0
Germination percentage (%)	0	76.3 ± 14.5	100.0	80.9 ± 4.8	100.0
	250	72.2 ± 12.5	98.0	67.0 ± 5.3	83.4
	500	66.2 ± 13.9	86.7	55.1 ± 7.0	68.0
	750	61.7 ± 10.4	84.7	50.7 ± 9.2	63.0
	1,000	59.5 ± 10.4	82.3	34.6 ± 7.5	41.6
	1,250	51.8 ± 12.9	66.0	33.3 ± 7.5	40.7
Plant height (cm)	0	2.09 ± 0.18	100.0	2.05 ± 0.11	100.0
	250	2.12 ± 0.31	97.3	2.03 ± 0.07	99.7
	500	2.11 ± 0.23	100.0	1.96 ± 0.09	96.4
	750	1.98 ± 0.21	96.2	1.88 ± 0.09	93.1
	1,000	2.03 ± 0.17	97.5	1.68 ± 0.19	83.9
	1,250	1.89 ± 0.29	86.5	1.61 ± 0.16	78.9
Root length (cm)	0	3.44 ± 0.55	100.0	2.98 ± 0.18	100.0
	250	3.14 ± 0.54	90.3	2.64 ± 0.23	88.3
	500	2.27 ± 0.39	67.5	2.16 ± 0.19	72.1
	750	1.58 ± 0.26	50.5	1.63 ± 0.19	56.0
	1,000	1.11 ± 0.13	36.8	1.31 ± 0.14	44.4
	1,250	0.78 ± 0.13	23.3	1.02 ± 0.10	34.0

kGy で半減し、*A. caudatus* でも約 750kGy でほぼ半減した。したがって、アマランサスにおけるガンマ線種子照射における適正総線量は、種や系統によって幾分異なるが、発芽勢、発芽率あるいはナーサリーテストバッグに置床後 2 週間目の根長の調査結果から、500kGy~750kGy であると考えられる。

次に、Table 10 に、ガラス室における箱播き試験による播種後 4 週間目の生存率を示した。この結果から、両種とも放射線感受性に品種間差異があり、*A. hypochondriacus* では 750kGy 照射でも生存率が半減 (LD50) となった系統もあるが多くの系統では高い値を示したため、平均値の指数は約 70 を示している。しかし、*A. caudatus* では 750kGy 照射でも 3 系統中 2 系統は半減していたため、平均値の指数は約 50 であった。

Table 11 に、ガラス室における箱播き試験による花粉稔性の調査結果を示した。ガラス室内が高温になりすぎたためか、両種とも対照区である 0 kGy 照射区でも約 60% の花粉稔性しか示さなかった。しかし、これを基準として指数で比べてみ

ると、ほとんどの系統では 500kGy 照射で半減しており、半数近くの系統では 250kGy 照射で半減していた。なお、ガラス室における箱播き試験では植物の育ちが小さかったため、個体当たりの採種量は全体に極めて少なかった。そこで、Table 12 に個体当たりの採種量を参考までに指数で示した。この表を概観すれば、両種とも 500kGy 照射で種子収量は半減している。ただし、*A. caudatus* の 1 系統の 750kGy 照射区においては、収穫期における対照区の草丈の 2 倍 (2 弱) にも生長した個体が 1 個体あったため、これだけで他の全個体 (いずれも 40~50cm 以下) の総採種量に近い値を示した。そのため、この種では 750kGy 照射区の平均値が異常に大きな値となった。

以上の結果からは、放射線感受性の種間差異を明確に論じることはできないが、感受性の程度に品種間差異があり、しかも生育段階によって放射線感受性の程度に差異がみられることがわかった。そして、発芽の段階では高線量でも生存可能であるが、播種後 4 週間目の生存率や開花期の花粉稔性ならびに個体当たりの採種量の調査結果などが

Table 10 Survival rate of gamma-ray irradiated air-dried 9-accession seeds of two *Amaranthus* species (tested in greenhouse)

Total dose (kGy)	<i>A. hypochondriacus</i> (6)		<i>A. caudatus</i> (3)	
	Mean $\pm$ s.e.	Index	Mean $\pm$ s.e.	Index
0	97.6 $\pm$ 4.6	100.0	100.0 $\pm$ 0.0	100.0
250	94.4 $\pm$ 7.6	96.7	96.8 $\pm$ 3.9	96.8
500	89.0 $\pm$ 11.5	91.2	80.2 $\pm$ 12.9	80.2
750	69.7 $\pm$ 23.4	71.8	56.8 $\pm$ 35.7	56.8
1,000	12.0 $\pm$ 10.3	12.7	12.2 $\pm$ 14.4	12.2
1,250	12.9 $\pm$ 22.7	13.2	0.7 $\pm$ 1.2	0.7

Table 11 Pollen fertility of gamma-ray irradiated air-dried 7-accession seeds of two *Amaranthus* species (tested in greenhouse)

Total dose (kGy)	<i>A. hypochondriacus</i> (4)		<i>A. caudatus</i> (3)	
	Mean $\pm$ s.e.	Index	Mean $\pm$ s.e.	Index
0	55.3 $\pm$ 4.3	100.0	61.2 $\pm$ 7.2	100.0
250	42.3 $\pm$ 16.5	75.3	47.8 $\pm$ 15.9	82.3
500	20.8 $\pm$ 9.2	36.3	27.3 $\pm$ 4.1	46.0
750	10.3 $\pm$ 2.5	18.3	17.3 $\pm$ 3.3	30.0

**Table 12** Seed yield index of gamma-ray irradiated air-dried 7-accession seeds of two *Amaranthus* species (tested in greenhouse)

Total dose (kGy)	<i>A. hypochondriacus</i> (4)	<i>A. caudatus</i> (3)
0	100.0	100.0
250	85.4	60.0
500	54.2	56.4
750	58.3	150.9 <sup>1)</sup>
1,000	0.0	20.0
1,250	0.0	0.0

<sup>1)</sup> Due to one gigantic plant which grew a lot of seeds.

らみて、供試したアマランサス属 2 種の放射線突然変異育種における効果的な適正総線量は最大でも 500kGy~750kGy であると思われる。

### (3) ガンマー線種子照射における後代検定 (<sup>1</sup>M<sub>2</sub> 世代)

#### (a) 材料および方法

まず、アマランサス属 2 種のガンマー線種子照射における適正総線量を求める上記試験で供試した系統中から、*A. hypochondriacus* の 2 系統（メキシコより導入された試験番号 1 と 7）ならびに、*A. caudatus* の 2 系統（ネパールより導入された試験番号 13 と 14）の後代 (<sup>1</sup>M<sub>2</sub> 世代) を供試した。なお、ガラス室での箱播き試験では植物の育ちが悪かったので、個々の個体の採種量の多かった系統を兩種より 2 系統ずつ選抜したのがこれら 4 系統である。野帳をもとに、それぞれの系統の各照射線量区から 10 個体ずつの親個体を選抜して、各親個体から 100 粒ずつプラスチックハウス内の苗床に播種し、1 週間後から 3 週間後まで発芽率を

調査した。

一方、放射線照射開始以前から選抜育種をすすめ、従来のアマランサス (*A. hypochondriacus*) では最も有望と思われる試験番号 7（旧名では AH-6）について、同様にして 0kGy~750kGy までの各照射線量区から 20 個体ずつの親個体を選抜して、圃場試験を行った。すなわち、プラスチックハウス内の苗床で行った発芽試験による発芽率を参考にして、各プロットの個体数が約 200 個体となるように播種量を調整しながら播種した。各プロットの大きさは、畦間 1 m、畦長 2 m とし、プロット間の条間は 2 m とした。発芽の時点から収穫期に至るまで、適宜に形態調査を行うとともに、結実を待って収穫した。

#### (b) 結果および考察

供試した 2 種 4 系統の各照射線量ごとの発芽率をみると、対照区 (0kGy 区) でも全般的に 40% 以下と低い値であった。そこで、各系統について対照区の値を 100 として指数で比較すると、試験番号 13 では 500kGy 照射区でも対照区と変わらない高い発芽率を示したが、他の 3 系統では 500kGy 照射によって発芽率は対照区の 6 割程度まで低下した (Table 13)。すなわち、カウダータス種の試験番号 13 系統は、500kGy までの種子照射では照射次世代には放射線障害は生じないものと思われるが、他のヒポコンドリアーカス種の 2 系統とカウダータス種の 1 系統では照射次代にも放射線障害が現れた。したがって、先に照射当代の様子から効果的な適正総線量は 500kGy~750kGy であ

**Table 13** Seed germination percentage of gamma-ray irradiated <sup>1</sup>M<sub>2</sub> generation of two *Amaranthus* species (tested in plastic house)

Total dose (kGy)	<i>A. hypochondriacus</i>		<i>A. caudatus</i>	
	Exp. No.1	Exp. No.7	Exp. No.13	Exp. No.14
0	23.9(100.0)	38.4(100.0)	31.8(100.0)	29.9(100.0)
250	16.8 (70.0)	31.7 (82.5)	32.1(100.9)	21.5 (71.9)
500	15.3 (63.9)	21.8 (56.8)	31.3 (98.4)	19.7 (66.0)
750	—	19.6 (51.0)	—	—

( ) : Index.

ると推定したことが、照射次代の様子からも一層強く確認できた。

次に、ヒポコンドリアーカス種の試験番号7 (メキシコより導入のモネ性種子用アマランサス) の<sup>1</sup>M<sub>2</sub>世代における圃場試験の結果についてみると、上記発芽率の低下に加えて初期生長が抑制された個体が多くみられ、とくに750kGy照射区では半数以上の個体が初期生長の著しい遅延を示した。これら生育遅延を示した個体は、収穫期までにすべて枯死した。なお、開花初期に襲来した台風によってほとんどの個体が倒伏したため、その他にも枯死した個体が多く出現し、正確な生存率を求められる状態ではなくなった。

Table 14 は、圃場試験でみられた変異個体の出現頻度を示したものである。発芽の時点では、照射区において3葉子葉やキメラ条の斑入り葉が対照区に比べて高頻度で出現した。本葉の出葉後は、各種の斑入り葉や、莖葉の奇形などがみられた。

これらの変異の出現頻度は、500kGy照射区でもっとも高く、後代検定を行った20群中18群(延べでは25群)で何らかの奇形がみられた。

なお、耐倒伏性との関連で草姿についてみると、対照区においては莖長と穂長の間には高い正の相関( $r=0.821^*$ )がみられ、大きな穂をつける個体ほど長い莖をもって倒伏しやすい傾向がみられた。しかし、500kGy以上の照射区では相関はみられず、750kGy照射区には短莖で穂長の長い個体が1個体だけみられた。これらの結実を待って、個々の個体から少量ずつではあるが充実種子を得ることが出来た(Table 15)。個体が貧弱なうえに風害を再三受けたため採種量は極めて少ないが、500kGyや750kGy照射後代でも、それぞれ9個体と1個体からは100粒以上の種子を採種できた。

以上の結果から、アマランサス(*A. hypochondriacus*)におけるガンマー線種子照射の適正線量

Table 14 Number of groups in which some variants appeared in gamma-ray irradiated <sup>1</sup>M<sub>2</sub> generation of Exp. No.7 of *A. hypochondriacus* (tested in field)<sup>1)</sup>

Total dose (kGy)	Abnormal cotyledon	Mottled leaf	Abnormal leaf or stem	Number of groups
0	4	0	1	5 ( 5) <sup>2)</sup>
250	12	2	2	13 (16)
500	12	9	4	18 (25)
750	10	7	0	12 (17)

<sup>1)</sup> Twenty groups were tested, and about 200 seedlings were germinated in each group.

<sup>2)</sup> Cumulative.

Table 15 Seed yield of the plants in gamma-ray irradiated <sup>1</sup>M<sub>2</sub> generation of Exp. No.7 of *A. hypochondriacus* (tested in field)<sup>1)</sup>

Total dose (kGy)	No. of groups harvested	No. of mature plants	No. of seeds per plant <sup>2)</sup>	No. of plants which grew more than 100 grains
0	17	140	43.2±12.1	20
250	14	161	34.9± 8.9	23
500	12	159	23.1± 4.8	9
750	11	52	15.9± 7.5	1

<sup>1)</sup> Twenty groups were tested, and about 200 seedlings were germinated in each group.

<sup>2)</sup> Mean ± s.e.

は、500kGy～750kGyであることがわかった。また、750kGy照射後代に、短茎の割には穂長の長い個体が1個体得られたので、耐倒伏性アマランサス育種に役立つか否かをみるために、さらに後代検定を行うことにした。

#### (4) ガンマー線種子照射における後代検定

##### (<sup>1</sup>M<sub>3</sub> 世代)

##### (a) 材料および方法

試験番号7における前年度の<sup>1</sup>M<sub>2</sub>世代の各個体から収穫したガンマー線種子照射代3世代について、開花まで日数、茎長、穂長ならびに採種量など農業形質に関する変異個体を選抜する目的で調査した。各個体から得られた種子を母本ごとに家系 (pedigree) とし、100粒以上実った個体からは100粒を、100粒以下の個体については全量を播種した。栽培法は、前年に準じた。調査項目のうち発芽率については、播種後3日目から調査を開始し3週間後に打ち切った。開花まで日数について

は、播種後1か月目から毎日調査した。茎長と穂長については、結実を待って収穫時に調査し、採種量については主穂と分枝穂に分けて収穫し調整後に計量した。

##### (b) 結果および考察

発芽率についてみると、ガンマー線種子照射第2世代 (<sup>1</sup>M<sub>2</sub>) における植物の生育が悪く結実率が極めて低かったためか、Table 16 に示したとおり第3世代 (<sup>1</sup>M<sub>3</sub>) における発芽率は低かった。表にはそこまで示していないが、数粒しか播種できなかった家系で全部の種子が発芽した場合がある一方、数十粒以上を播種した家系で50%以上の発芽率を示したものは、ほとんどなかった。

結実種子の得られた個体における播種後開花まで日数を家系別にみると、Table 17 のとおりである。対照区では、7割弱 (45家系中30家系) では播種後70日目までに開花し、90日以上と晩性の家系は極めて少なかった。しかし、ガンマー線照

**Table 16** Germination percentage of the seeds in gamma-ray irradiated <sup>1</sup>M<sub>3</sub> generation of Exp. No.7 of *A. hypochondriacus* (tested in field)

Total dose (kGy)	No. of pedigrees tested	No. of seeds sown	Mean ± s.d. <sup>1)</sup>
0	106	2,606	15.3 ± 12.9
250	127	3,732	16.5 ± 18.7
500	132	2,392	12.0 ± 7.2
750	31	489	35.0 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> These are the results of the pedigrees in which 100 seeds each was sown for testing.

<sup>2)</sup> This is a result of only one pedigree.

**Table 17** Days to flowering from sowing in gamma-ray irradiated <sup>1</sup>M<sub>3</sub> generation of Exp. No.7 of *A. hypochondriacus* (tested in field)<sup>1)</sup>

Total dose (kGy)	No. of pedigrees tested	No. of plants observed	Frequency distribution of days to flowering of pedigree		
			≤70 (Aug.12)	71~90	91≤
0	45	141	30	13	2
250	45	115	22	13	10
500	43	99	16	21	6
750	18	34	5	9	4

<sup>1)</sup> These are the results of plants from which mature seeds were harvested.

射区においては、照射総線量の増加にもなつて放射線障害の影響がでるためか開花の遅れる個体が多くなり ( $\chi^2=15.624^*$ )、750kGy 照射区では播種後70日目までに開花した家系は3割弱 (18家系中5家系) であった。

発芽した個体の初期生長から開花に至るまでの過程は比較的順調に推移した。しかし、台風の襲来によって全個体が倒伏した。そのため、その後の生育に大きな後遺症を残した。このような状況下における個体ごとの草丈についてみると、Table 18のとおりである。また、個体ごとの採種量については、Table 19のとおりである。

アマランサスに耐倒伏性を付与するためには草丈(茎長)が短くなることが望ましい。そこで、収穫時の草丈の個体変異をみると、91cmから270cmの変異幅で変異がみられた (Table 18)。しかし、照射総線量による差異は特に認められず ( $\chi^2=8.089$ )、また前世代の750kGy 照射区にみられた

短茎個体の次第にも特別な変異個体は出現しなかった。また、個体当たりの採種量についてみると、対照区の141個体では最高でも150グラム以下であった。しかし、250kGy 照射区と500kGy 照射区には、150グラムを越えた採種量をみせる個体が115個体中1個体と、99個体中5個体あった。

そこで、個体当たり採種量が150グラム以上と多かった6個体の特性を示すと Table 19のとおりである。対照区(0kGy区)では、1個体当たり132グラムが最大値であったが、ガンマー線照射後代には最大値251グラムという個体があった。しかも、これら6個体中3個体は照射当代における同一個体に由来していた。

今回のガンマー線種子照射による後代検定では、いまだ耐倒伏性を有する家系は見出されていない。しかし、日照不足などの異常気象下でも高い結実能力を示す育種材料が得られる可能性はあるものと思われるので、さらなる追究を続けたい。

Table 18 Plant height of the plants in gamma-ray irradiated  $^1M_3$  generation of Exp. No.7 of *A. hypochondriacus* (tested in field)<sup>1)</sup>

Total dose (kGy)	No. of pedigrees tested	No. of plants observed	Frequency distribution of days to flowering of pedigrass		
			90~150	150~210	210~270
0	45	141	22	70	49
250	45	115	19	54	42
500	43	99	12	33	50
750	18	34	4	17	13

<sup>1)</sup> These are the results of plants from which mature seeds were harvested.

Table 19 Seed yields of the selected plants in gamma-ray irradiated  $^1M_3$  generation of Exp. No.7 of *A. hypochondriacus* (tested in field)

Selected plant No. <sup>1)</sup>	Plant height (cm)	Main stem length (cm)	Inflorescence length (cm)	Seed yield (gram)
250-7-1-3-3	236	163	73	179
500-4-1-2-1	180	147	33	193
500-4-1-4-2	250	180	70	251
500-4-2-6-1	240	166	74	168
500-20-2-19-1	217	161	56	151
500-11-2-9-1	208	158	50	166

<sup>1)</sup> The first three-digit number means total dose of gamma-ray irradiation to seed.

なお、詳細は省略するが、同時に行っている *Celosia* 属の生体累代照射実験において、受粉生物学的にみて大変興味深い現象が得られた。すなわち、虫媒受粉植物であるノゲイトウ (*C. argentea*) の1個体に、風媒受粉植物であるトサカゲイトウ (*C. cristata*) に似た帯化花穂を示した風媒受粉で結実する花房が枝変わりとして1枝出現したり、フサゲイトウ (*C. cristata* var. *plumosa*) でも全花房が帯状になった個体が複数出現した。これらの現象は、虫媒受粉から風媒受粉へまたは虫媒受粉から風媒受粉へという受粉様式の進化との関連で、受粉生物学的に大変興味深い現象であると思われる。そこで、このノゲイトウの変異体の花穂に結実した種子を播いたところ、次代植物(照射代4世代)は通常のノゲイトウと同じ花穂をつけた個体のみであった。したがって、第3世代で生じた変異花穂は放射線障害であった可能性もある。しかし、この帯化花穂が劣性ホモであり、かつ他殖性を高めてしまったために、次代植物がすべてヘテロとなって通常の花穂を示したということも考えられる。

さらに、フサゲイトウ (*C. cristata* var. *plumosa*) の帯化花穂から得た第4世代種子を播種して調査した。その結果、一部の次第種子には1分枝(No. 6)において大きな変異個体が現れた。すなわち、この集団においては、2個体の花穂はすべてが大きく帯化し、トサカゲイトウ (*C. cristata*) に似た形態を示した。ただし、これらの花穂には種々の花粉媒介昆虫が頻繁に訪れ、虫媒受粉によって結実し、多くの種子が実った。

また、ノゲイトウ、フサゲイトウそれぞれの累代照射後代に、花穂の形態などが両者の中間的であり雑種と思われるような個体がよく低頻度であるが現れた。これらについても、突然変異によって生じたものか真の雑種であるのかを追究していけば、ノゲイトウ (*C. argensea*)、トサカゲイトウ

(*C. cristata*) さらにはフサゲイトウ (*C. cristata* var. *plumosa*) の分化の過程を推定することが可能にかなもの期待される。

今後、これらのガンマー線種子照射ならびに生体照射の後代植物を追いながら、耐倒伏性系統作出のための育種材料の確立ならびに栽培・育種学的基礎研究と、虫媒と風媒あるいは自殖性と他殖性という生殖様式の分化について繁殖生物学的基礎研究を続けていきたいと念じている。

#### (5) 組織培養技術の検討

##### (a) 材料および方法

組織培養技術の検討については、ガンマー線種子照射試験と同じアマランサス属2種15点中 (Table 8) の試験番号1と13の2系統を除く13点と、同属の *A. tricolor* (ハゲイトウ) の1点 (試験番号17, 象牙海岸産) および、*A. dubius* (野生種) の1点 (試験番号18, メキシコ産) ならびに、ケロシア属の *C. argentea* (ノゲイトウ) の1点 (試験番号20, メキシコ産) の合計2属5種15点を供試した (Table 1 参考)。

まず、供試種子について、高い発芽率を維持しながら雑菌のコンタミなしに催芽種子のカルス形成を開始させられるようにするための滅菌法を確立するための予備試験を行った。すなわち、風乾種子を75%エタノールに10分間浸した後、滅菌水で2~3回洗い、次亜塩素酸ナトリウム溶液 (1%, 3%, 5%の3水準) に浸漬し (10分間, 15分間, 20分間), さらに滅菌水で3~4回洗い、寒天培地 (寒天0.7%, ショ糖3%) に置床した。なお、種子の休眠を打破するため、2,4-D (濃度 0 mg/l~30 mg/l まで 5 mg 単位で 6 水準) を添加し、休眠打破の最適濃度を検討した。催芽試験は28°Cの恒温器内で行い、置床後10日芽に発芽およびコンタミの程度を調査した。

次いで、脱分化と再分化を促すために、脱分化培地としてはB5培地にショ糖3%, 寒天0.7%

添加し、2,4-D (上記と同様の濃度)を加えて、pHを5.8に調整した。寒天培地を90mm×15mmプラスチックベトリ皿に20mlずつ分注し、固形培地として用いた。再分化培地としては、基本的には脱分化培地をベースとし、2,4-Dの代わりにKn 1.0mg/l、NAA 1.0mg/lを加えたものを用いた。

実験は、いずれも3反復で行い、28°C暗黒下で45日間培養してカルス形成能を求め、さらにカルス形成後60日のカルスを再分化培地に移し、26°C15時間日長下で35日間培養して再分化能を求めた。

#### (b) 結果および考察

予備試験の結果、種子の滅菌には次亜塩素酸ナトリウム5%溶液に15分間浸漬すればよいことが分かった。また、種子の休眠打破のための2,4-D濃度については、供試系統によっては濃度が高まるほど発芽率が低下したが、ある程度の高濃度下で高い発芽率を示す系統もあった。したがって、催芽には、2,4-Dを15mg/l、20mg/lならびに25

mg/lの3条件を用いればよいことが分かった。

そこで、供試した合計2属5種15点のカルス形成能と再分化能の種・品種間差異をみると、Table 20のとおりである。なお、培地に添加した2,4-D濃度の3処理間では、カルス形成率に有意差はなかったので、表ではそれらを包含した値を示してある。1点しか供試していない種もあるため、種間差異については明確な判断は下せないが、6点ずつを供試した2種については組織培養能の種内変異はあまりなく、*A. hypochondriacus*の平均カルス形成率は28.3%であり、*A. caudatus*の16.2%よりも高いカルス形成能を示した。その他の種では、*A. tricolor* (試験番号17)が0.3%と際立って低く、*C. argentea* (試験番号20)が64.1%ともっとも高いカルス形成能を示した。再分化した供試した15点中8点で観察されたが、シュート形成の可能性があるgreen-spotの形成は*A. hypochondriacus*の2系統(試験番号2と4)だけあった。カルス形成率のもっとも高かった*C. argen-*

Table 20 Callus formation and regeneration abilities of germinated seeds of various Amaranths

Species	Exp. No. of acc.	% callus formation	% regeneration <sup>1)</sup>	
			Green-spot	Root
<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	2	24.2	+++	-
	4	25.8	+++	++
	5	37.7	-	+
	6	27.3	-	+
	7	26.3	-	-
	8	30.4	-	-
	(Mean ± s.e.)	28.6 ± 1.8)		
	<i>A. caudatus</i>	9	24.5	-
10		9.8	-	-
11		17.7	-	+
12		14.0	-	-
14		14.4	-	+
15		16.5	-	+
(Mean ± s.e.)	16.2 ± 1.8)			
<i>A. tricolor</i>	17	0.3	-	+
<i>A. dubius</i>	18	9.7	-	-
<i>Celosia argentea</i>	20	64.1	-	-

<sup>1)</sup> +++ : frequent, ++ : many, + : some, - : zero.

tea(試験番号20)では、再分化はまったくみられなかった。

以上、アマランサスの組織培養組織を確立するための一助として行った試験の結果からは、今回用いた培養条件が必ずしも最適でなかったためか、十分な成果が得られなかった。しかし、種間差異があることが示唆されたので、個々の種について多数のサンプルを用いて検定すれば、組織培養に適した系統が同一種内に見出される可能性はあるものと考えられる。今後、培養条件の検討とあわせて、アマランサス類の組織培養能に関する種・品種間差異の全貌をさらに追究していきたい。

### 3. 要 約

ヒユ科のアマランサス類には、優れたアミノ酸組成をもつ蛋白質に富んだ子実用アマランサスとビタミンCやミネラルなどを多量に含有する葉菜用アマランサスのほかに、鑑賞用のケイトウやハゲイトウなどがある。食用としてのアマランサスは、古くは中南米のインディオが利用しており、極めて高品質な食物である。しかし、近年に至るまで近代農学の光が当てられなかったため基礎的研究も少なく、先進国のなかでは特に日本では研究が遅れており、広く普及するには至っていない。そこで、わが国でアマランサス栽培を普及・振興するうえで特に問題となる、アマランサスの高温発芽性や高い脱粒性と倒伏性などの改善を測るための基礎的研究を行った。すなわち、低温発芽性系統の発掘には、ネパールで収集されたアマランサスにおける発芽温度の種内変異に関する研究を試みた。また、脱粒性と倒伏性の改善には、ガンマー線種子照射または組織培養技術の利用による難脱粒性・耐倒伏性遺伝子の開発に関する基礎的研究を試みた。

(1) 低温発芽性系統の発掘については、ネパールの海拔1,000m～3,500mにおいて収集された*A. hypochondriacus*の60点を対象として発芽温度

を検定したところ、発芽温度には大きな系統間差異がみられ、80%以上の発芽率が高温の20℃下でないと認められない系統もあったが、低温の10℃下でも80%以上の高い発芽率を示し初期生長も旺盛な8点を見出すことができた。これら低温発芽性系統は、わが国におけるアマランサス育種のため有効な遺伝資源になるものと期待される。

(2) ガンマー線種子照射による難脱粒性・耐倒伏性遺伝子の発掘に関する基礎的研究では、*A. hypochondriacus*と*A. caudatus*の2種における適正総線量は、500kGy～750kGy以下であることが確かめられた。ガンマー線種子照射の第3世代( $^1M_3$ )までにおいては、安定して短茎の耐倒伏性系統は未だ作出されていない。しかし、対照区(0kGy)の後代では個体当たりの採種量は150グラム以下であったのに対し、250kGy～500kGy照射区の後代には150グラム以上の採種量を示したものが合計6個体あり、そのうちの1個体は251グラムもの収量をあげた。さらに後代検定を続ける必要があるが、これらの個体が有用な遺伝資源となることを期待したい。

(3) 組織培養技術を利用した難脱粒性・耐倒伏性遺伝子の発掘に関する基礎的研究では、まず、種子の滅菌には次亜塩素酸ナトリウム5%溶液に15分間浸漬すればよく、種子の休眠打破用の2,4-D濃度は15mg～25mg/lがよいことが分かった。供試した合計2属5種15点のカルス形成能と再分化能の種・品種間差異をみると、1点しか供試していない種もあるため種間差異については明確な判断は下せないが、組織培養能の種内変異はあまりなく、*A. hypochondriacus*の平均カルス形成率は28.3%であり、*A. caudatus*の16.2%よりも高かった。その他の種では、*A. tricolor*が0.3%と際立って低く、*C. argentea*が64.1%ともっとも高いカルス形成能を示した。再分化は置床後35日の時点では15点中8点で観察されたが、シュート

形成の可能性がある green-spot の形成は *A. hypochondriacus* の 2 系統で見られただけであった。実験は未だ基礎的段階の緒についたばかりであり、更なる追究が必要である。しかし、種間差異があることが示唆されたので、培養条件を改善しながら個々の種について多数のサンプルを用いて検定すれば、組織培養に適した系統が見出される可能性があるものと考えられる。

(4) 本助成金によって、その他にもアマランサス種子の休眠性や生殖様式に関する基礎研究や葉菜用アマランサスの導入試験ならびに米国におけるアマランサス研究の実験観察なども行うことが

できた。ここに、浦上食品・食文化振興財団のご援助に対して衷心より謝意を表します。

#### 文 献

- 1) Grubben, G.J. and Van Sloten, D.H., *Genetic Resources of Amaranths*, IBPGR, Rome. 57 pp. (1981)
- 2) Joshi, B.D. and Rana, R.S., *Grain Amaranths: The Future Food Crop*, National Bureau of Plant Genetic Resources, New Delhi. 152 pp. (1991)
- 3) Yamaguchi, T., *Mutation breeding of ornamental plants*, *Acta Radiobot. Genet.* 7 : 49-67 (1988)
- 4) Flores, H.E., Thier, A. and Galston, A.W., *In vitro* culture of grain and vegetable amaranths (*Amaranthus* spp.), *Amer. J. Bot.* 69 : 1049-1054 (1982)

## Studies on the cultivation and breeding of edible amaranth for promoting and increasing of its cultivation in Japan

Hyoji Namai (Institute of Agriculture and Forestry, University of Tsukuba)

*Amaranthus* is one of the main species of the large and taxonomically diverse group of tropical leaf vegetables and the seed of *Amaranthus* spp. was once an important food for the inhabitants of the Americas in pre-Colombian times. Grain amaranths are believed to be ancient food crops and reported to have been cultivated in Mexico, by the Aztec and Inca long before Spanish conquest. Since then, it has declines to the state of a minor crop. Until now, daily intake of vegetable amaranths per head is estimated as 5g for Latin America, 15g for Southeast Asia and 21g for Africa, and recently the high nutritional value of the seed has been recognized.

However, amaranths have generally various wild grasslike characteristics such as shattering habit, lodging habit, seed dormancy, etc. Germination temperature of amaranth seed is higher than those of ordinary cultivated plants and wild ones in Japan due to the origin of amaranths in the tropics.

Then, in order to promoting and increasing of amaranth cultivation in Japan, I have been attempting to select some genetic resources which have low temperature germination ability, and breed some variants which have lodging resistance and/or shattering resistance by means of gamma-ray irradiation or tissue culture techniques.

Until now the studies on amaranths have not yet been finished, but I could find some accessions which have low temperature germination ability in the Nepalese mountainous land races of *Amaranthus hypochondriacus*. In terms of fundamental studies on radiation breeding for lodging resistance, etc., appropriate total dose of gamma-ray irradiation to amaranth seeds is 250-500kGy. In the  $^1M_3$  generation of 500kGy-irradiated seeds there was a plant (variant?) yielded up to more than 250g of seeds, instead of only 132g in the highest yielded plant out of all the control plants (0Gy). On the bases of my experiments, tissue culture ability of amaranth is very low. However, there seems to be wide interspecific variation in such ability. So, I want to continue radiation breeding and tissue culture breeding of amaranths.