

2. ヒ素 (As)

植物によるヒ素の吸収については、Ad Chatinが1851年に報告している¹⁹⁾。低濃度のヒ素化合物によって植物生育が促進されること^{12, 19, 24, 31)}や、ヒ素化合物の散布によってカンキツ類の成熟が促進され、全糖含量やフラボノイド含量が増加すること^{19, 32)}が報告されているが、ヒ素が植物生育に必須であるという確証は得られていない^{19, 33)}。一方、高濃度のヒ素化合物は、発芽の抑制や幼植物の生育抑制¹⁹⁾をはじめとする生育障害作用を示す。2 - 2表に各種植物の生育障害発現濃度を示した。ヒ素の酸化物のなかで亜ヒ酸は、一般に生物に対する毒性が強く、ヒ酸の100 ~ 300倍位であるといわれている。作物についても一般的にみての亜ヒ酸はヒ酸よりも少なくとも3倍、またはそれ以上作物に対する毒性が強い、とみられている^{14, 24, 34, 38, 49, 50)}。この作物の生育障害としてまず現れる症状は、葉が巻いたり、しおれたりすることである^{19, 49)}。次いで、根部の発達も阻害され、生育が著しく抑制される。さらに、障害が進むと根や葉の組織が破壊され、作物は枯死する^{19, 49)}。このようなヒ素の過剰症状は、単にヒ素の量により支配されるばかりでなく、作物の種類によっても異なり、必ずしも同一の症状を呈さない。2 - 3表に各種作物のヒ素過剰症状を示した。このほか、水稻のヒ素障害としては、出穂の遅延、不稔などが知られている^{14, 15, 28, 36)}。

植物に対するヒ素の毒性は、多量のヒ素が植物に吸収され、地上部に移行する以前に植物の生育が制限されるということにあることは明かであるとされている¹⁹⁾。

ヒ素の添加によって葉面蒸散の低下⁴⁸⁾、根から地上部への水の移動障害⁴²⁾、吸水障害⁴⁾、養分吸収障害(阻害順序 $K_2O > NH_4 > NO_3 > MgO > P_2O_5 > CaO$)³⁸⁾などが起こることが明らかにされており、ヒ素の障害症状としてよく見られる葉の黄化現象の原因は、上記の水と窒素の吸収阻害とヒ素によるクロロフィルの破壊⁵¹⁾によるものと考えられている⁴⁹⁾。また、ヒ素の作物への阻害作用をその生理作用の面からみると、ヒ素とリン酸との類似性のためにトリオ - ズリン酸の酸化が高エネルギー - リン酸の生成を伴うことなく進行するため、酸素の吸収はあまり阻害しないが、TCAサイクル中でATP(アデノシン三リン酸)の生成を大きく阻害するためであると考えられている^{52, 53)}。

これまでの研究から作物の種類によってヒ素阻害に対する抵抗性が異なることが明らかにされ、次のように分類されている^{19, 45, 54)}。

耐性の大きいもの：アスパラガス、ジャガイモ、ニンジン、トマト、タバコ、
キイチゴ、ブドウ、リンゴ、西洋スモモ、西洋ナシ
中程度の耐性をもつもの：トウモロコシ、ビ - ト、カボチャ、イチゴ、
サクランボ

低・無耐性のもの：インゲン、リママメ、エンドウ、アルファルファ、
豆科植物、タマネギ、キュウリ、モモ、アンズ、ア - モンド

この他、豆類やキュウリは、害を受け易いが、穀類、牧草類は被害を受けにくいこと⁴⁸⁾や、インゲン、ジャガイモ、エンドウ、小麦の順で抵抗性が高まること⁵⁵⁾も報告されている。この作物による抵抗性の違いの原因については明確にされていないが、ヒ素の作物体中の濃度と障害の発生とが作物の種類により異なることが第一の原因と

考えられている^{45, 56, 57)}。

Lindnerら⁴⁵⁾は、乾物あたりの葉中ヒ素濃度がアンズでは6.1ppm、モモでは2ppmで激しい障害を受けること、サクランボは8.6ppmで軽い障害を受けることを報告している。水稻では、石塚ら²⁸⁾が茎葉で50ppm、根で200ppmが危険レベルであると、小山ら⁵⁷⁾も水稻茎葉中ヒ素濃度の障害発生の限界を30ppmと考え、この濃度以上でヒ素障害がみられるとしている。

作物に対するヒ素の障害の発現は、土壌の違いによって大きく影響されることが明らかにされている。Craftsら¹⁹⁾は、土性とヒ素障害発生の程度との関係を研究し、ヒ素吸着力の弱い砂質土ではヒ素障害は強く現れるが吸着力の強い粘土質土壌では現れにくいことを明らかにしている。我が国においても、ヒ素吸着力の強い火山灰土壌ではヒ素障害が現れにくいことが明らかにされている^{11, 57)}。

ヒ素は自然界に広く分布し、含ヒ素殺虫剤にさらされたことがないと推定される森林の植物や野生動物にも見いだされている。植物体のヒ素含有量については、0.1 ~ 5(平均1)ppm³³⁾とされている。野菜³⁾、果実³⁾、水稻玄米^{4, 11)}、麦類子実⁴⁾、飼料作物について、わが国で調査された天然賦存量と考えられる数値はいずれも1ppm以下であり、葉菜類0.26ppm、果菜類0.78ppm、根菜類0.26ppm、果実0.39ppm(以上いずれも可食部の乾物あたり平均含有量)、玄米0.135⁴⁾及び0.2¹¹⁾ppm、小麦0.06ppm、裸麦0.07ppm、二条大麦0.05ppm、大麦0.05ppm(以上子実平均含有量/含水物)、夏作飼料作物0.05ppm、冬作飼料作物0.04ppm(乾物平均)である(2 - 6表参照)。自然の土壌に生育している植物のヒ素レベルは、10ppmを越えないとWilliamら¹⁹⁾は報告している。作物体の部位別ヒ素分布は、一般に根部に多くに多量に集積し、ついで葉部であり、結実種子中には多量に含まれることはないとされている^{10, 16, 28, 39)}。例えば、高濃度のヒ素を含有する土壌に生育した水稻子実中のヒ素含量が1ppmを越えることはまずないとされている⁴⁹⁾。しかし、ヒ酸鉛による減酸味処理を受けたナツミカンの種子は多量のヒ素を蓄積することが明らかにされている²⁾。一方、海棲植物のヒ素レベルは、陸棲植物より高いとされている⁵⁸⁾。

藤本ら^{1, 2)}は、市販の野菜と果物及び茶のヒ素残留量を調査し、食品衛生法に許容量が規定されているものは、いずれも許容量以下であり、規定されていないものも1ppm以下であることを報告している。渡辺ら^{5, 6)}は、ナス、キュウリによる土壌からのヒ素の吸収移行を調べ、果実のヒ素含有量は、他の部位に比較してきわめて少ないことを報告している。藤本ら⁷⁾は、有機ヒ素を散布したイチゴのヒ素残留量を調べ、農薬残留に関する安全規準に基づいて使用すれば、その残留量は許容量(1.0ppm)を越えることはないという結果を得ている。太田ら⁹⁾は、有機ヒ素剤(晩腐病防除用)を散布したブドウの果皮及び果肉中のヒ素残留量を調査し、無袋の場合でも収穫5日前までに散布すれば果皮及び果肉中の残留量は、1ppm以下になることを明らかにしている。藤本ら¹⁰⁾は、水稻の紋枯病防除に用いられた有機ヒ素剤の残留量について検討し、土壌中の有機ヒ素が20ppmを越す水田の玄米では全ヒ素(As₂O₃)が、1.65ppm検出され、野菜や果物の一部に決められた残留基準(1.0ppm)を越える場合があるので注意しなければならないとしている。ヒ酸鉛や有機ヒ素剤が散布されたリンゴの果実上のヒ素残留量に関してFrehseら²⁰⁾及びTewら^{21, 22)}が報告し

ている。これらの野菜や果実などのヒ素残留量については、2 - 6表を参照されたい。
Batjerら¹⁹⁾は、古いリング園に植えたモモが生育障害を受けること、横井^{7,4)}、萩原^{3,5)}、渡辺ら^{1,3)}は、長い間リング園及びナシ園であったところを水田に転換した場合に水稻の生育障害が発現することを報告している。この生育障害は、長年農薬として散布され、土壤中に蓄積したヒ素化合物によるものとみなされている。

文 献

- 1) 藤本雄一ら：農薬検査所報告、10、84(1970)
- 2) 藤本雄一・中村広明：同上、11、139 - 140(1971)
- 3) 農業技術研究所化学部土壤化学第3研究室：昭和48年度特別研究「農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究」推進会議資料（農林水産技術会議事務局編）p.23 - 28(1974)
- 4) 九州農業試験場環境第2部土壤肥料第2研究室：九州業試験場「土壌汚染」資料、No.2、1 - 46(1973)
- 5) 渡辺孝弘ら：農薬検査所報告、11、101 - 105(1971)
- 6) 渡辺孝弘・後藤真康：同上、10、57 - 61(1970)
- 7) 藤本雄一・中村広明：同上、11、106 - 107(1971)
- 8) 苦名 孝：山形大学紀要（農学）、6、267 - 273(1973)
- 9) 太田敏輝ら：九州農業研究、No.25、237(1963)
- 10) 藤本雄一ら：農薬検査所報告、12、71 - 75(1972)
- 11) 農事試験場環境部水質研究室：同研究室資料、No.3、36 - 97(1973)
- 12) 渋谷政夫ら：「農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究」昭和46年度中間報告（農業技術研究所土化3研）、p.47 - 72(1972)
- 13) 渡辺和夫・大竹俊博：山形県農業試験場研究報告、No.7、69 - 75(1973)
- 14) 堤 道雄・高橋誠助：宇都宮大農学部学術報告、9、87 - 93(1974)
- 15) 宮崎県総合農業試験場化学部：昭和48年度特別研究「農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究」推進会議資料（農林水産技術会議事務局編）p.283 - 288(1974)
- 16) 中国農業試験場環境部土壤肥料第1研究室：同上、p.291 - 293(1974)
- 17) 四国農業試験場栽培部土壤肥料第1研究室：「農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究」昭和47年度成績書、p.52 - 55(1973)
- 18) 茶業試験場土壤肥料研究室：昭和48年度特別研究「農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究」推進会議資料（農林水産技術会議事務局編）p.43 - 48(1974)
- 19) G. F. Liebig, Jr.: In "Diagnostic Criteria for Plants and Soils (H.D.Chapman ed.)", Calif. Univ. Div. Agri. Sci., p.13 - 23(1966)
- 20) H. Frehse and H. Tietz: J. Agric. Food Chem., 7, 553 - 558(1959)
- 21) R. P. Tew et. al.: J. Sci. Food Agric., 12, 666 - 674(1961)
- 22) R. P. Tew et. al.: ibid, 15, 678 - 683(1964)
- 23) W. A. Haller et. al.: J. Agric. Food Chem., 16, 1036 - 1040(1968)
- 24) G. F. Liebig et. al.: Soil Sci., 88, 342 - 348(1959)
- 25) E. A. Woalson: J. Sci. Food Agric., 23, 1477 - 1481(1972)
- 26) H. G. Small et al.: Proc. Soil Sci. Amer., 25, 346 - 348(1961)
- 27) H. G. Small et al.: Agron. J., 54, 129 - 133(1962)
- 28) 石塚喜明・田中 明：日本土壤肥料学雑誌、33、421 - 423(1962)
- 29) 横橋五郎・鈴木庄亮訳：「環境汚染病」, p.328-333(1974) G. Waldbott: "Health Effects of Environmental Pollutants"(1973)
- 30) 岩島清・葛原由章：環境汚染分析法4（大日本図書）、p.7 - 17(1973)
- 31) 細田克己：日本土壤肥料学雑誌、16、459 - 466(1942)
- 32) E. J. Deszyck and S. V. Ting: Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 75, 266 - 270(1960)
- 33) W. H. Allaway: Advan Agron., 20, 235 - 274(1968)
- 34) 春日井新一郎・南 礼蔵：日本土壤肥料学雑誌、10、補63 - 66(1936)
- 35) 萩原種雄：同上、13、11 - 15(1939)
- 36) 高崎 巻：同上、13、840 - 846(1939)
- 37) 奥田 東・高橋英一：同上、33、1 - 8(1962)
- 38) 山根忠明ら：日本土壤肥料学会講演要旨集、20、126(1974)
- 39) 橋本俊一・中野政行：同上講演要旨集、19、158(1973)
- 40) 宮城県農業センタ - : 昭和48年度特別研究「農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究」推進会議資料（農林水産技術会議事務局編）、p.218 - 224(1974)
- 41) W. E. Brenchley: Ann. Bot., 28, 283 - 301(1914)
- 42) L. Machlis: Plant Phys., 16, 521 - 544(1941)
- 43) E. Kessler und Bucker: Planta, 55, 512 - 524(1960)
- 44) E. W. B. Da Costa: Appl. Microbiol., 23, 46 - 53(1972)
- 45) R. C. Lindner: Amer. Soc. Hort. Sci., 42, 275 - 279(1943)
- 46) D. B. Swingle: Phytopathology, 1, 79 - 93(1911)
- 47) A. M. Hurd-Karrer: Plant Phys., 14, 9 - 29(1939)
- 48) H. E. Morris and D. B. Swingle: J. Agr. Res., 34, 59 - 78(1927)
- 49) 小山雄生：日本土壤肥料学雑誌、46、491 - 502(1975)
- 50) H. Heggeness:(文献49より引用)
- 51) J. Stewart:(文献49より引用)
- 52) J. Bonner: Plant Phys., 25, 181 - 184(1950)
- 53) W. O. James: Ann. Rev. Plant Phys., 4, 59(1953)
- 54) E. E. Wilson: J. Agr. Res., 64, 561 - 594(1942)
- 55) J. Stewart: Soil Sci., 14, 111 - 126(1922)
- 56) L. R. Johnson and A. E. Hiltbold: Soil Sci. Soc. Amer.Pro., 33, 279 - 282(1962)
- 57) 小山雄生ら：日本土壤肥料学会講演要旨集、18、115(1972)

- 58)D. J. Lisk: Advan. Agron.,24,267 - 325(172)
 59)A. P. Vianogradov:“ The Geochemistry of Rare and Dispersed Chemical Elements in Soils(Consulations Bureau,New York) ” ,p.65 - 70(1959)
 60)H. M. J. Bowen:“ Trace Elements in Biochemistry ” ,Academic Press, New York(1966)
 61)渋谷政夫：近代農業における土壌肥料の研究，第4集，p.53-64(1973)
 62)九州農業試験場土壌肥料第4研究室：昭和48年度特別研究「農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究」推進会議資料（農林水産技術会議事務局編），p.52-58(1974)
 63)平井敬蔵・菅野一郎：日本土壌肥料学雑誌，12，282 - 286(1938)
 64)E. A. Woolson et. al.:Soil Sci. Soc. Amer. Proc.,35,101 - 105 (1971)
 65)小山雄生ら：日本土壌肥料学会講演要旨集，20，127(1974)
 66)山根忠昭ら：同上，19，159(1973)
 67)山上良明ら：同上，20，126(1974)
 68)J. S. Johnes and M. B. Hatch: Soil Sci.,44,37 - 61(1937)
 69)R. F. Bishop and D. Chisholm: Can. J. Soil Sci.,42,77 - 80(1962)
 70)林 義三・米田茂男：日本土壌肥料学雑誌，9，補42 - 45(1935)
 71)立川 涼：農業及び園芸，43，1366 - 1370(1968)
 72)肥料協会新聞部：「肥料年鑑，昭和50年版」，p.310 - 316(1975)
 73)前田信寿・手代木智：日本土壌肥料学雑誌，28，185 - 188(1957)
 74)横井時次：同上，11，291(1937)

2-1表 成人1日の食物中ヒ素摂取量 (mg) ³⁰⁾

	正常摂取量	中毒量
As (ⅢまたはⅤ)	0.1-0.4	5-50

(成人：体重70kg，1日の食物摂取量：乾物750g/日)

2-2表 植物のヒ素障害発現とそのレベル (1)

植 物	栽 培 方 法	As 濃度 (ppm)	備 考	研 究 者 (年)
フダンソウ	ポット (土)	1000	火山灰土壌，ヒ酸ナトリウム使用，地上部，根部とも生育が著しく阻害される	渋谷政夫ら(1972) ^{1,2)}
		500	沖積土壌，ヒ酸ナトリウム使用，生育不能	
レモン	培養液	5	幼植物，亜ヒ酸カリウム使用，地上部，根部ともに生育が抑制される	Liebig(1959) ²⁴⁾
		10	幼植物，ヒ酸二水素カリウム使用，地上部，根部ともに生育が抑制される	
トウモロコシ	ポット (土)	100	幼植物，ヒ酸二水素ナトリウム使用，生育14%減	Woolson(1972) ^{2,5)}
		500	幼植物，ヒ酸二水素ナトリウム使用，生育78%減	
水 稻	培養液	1mg/l	亜ヒ酸水素ナトリウム1mg/l添加，穀実及びワラ収量はそれぞれ65%，61%減	春日井新一郎・南 礼蔵 (1936) ^{3,4)}
		10mg/l	亜ヒ酸水素ナトリウム10mg/l添加，枯死	
		1mg/l	ヒ酸水素ナトリウム1mg/l添加，穀実及びワラの収量はそれぞれ59%，51%減	
		10mg/l	ヒ酸水素ナトリウム10mg/l添加，枯死	
ポット (土)	ポット (土)	35	オルトヒ酸使用，植付後20~30日で枯死するか，そのまま分けつせず成熟期まで伸長	萩原種雄(1939) ^{3,5)}
		0.2g/ポット	ヒ酸鉛 0.2g/15kg土壌(As約2.9ppm)，生育そのものは対照区に近いものを示すが，出穂，成熟が遅れ，完熟しない	
		0.5g/ポット	ヒ酸鉛 0.5g/15kg土壌(As約7.2ppm)，初期生育は著しく抑制され，ついには枯死する	
		0.5g/ポット	ヒ酸カルシウム0.5g/15kg土壌(As約6.3ppm)移植当初は多少生育するが，すぐに枯死する	高崎 巻(1939) ^{3,6)}

2-2表 植物のヒ素障害発現とそのレベル(2)

植 物	栽 培 方 法	A s 濃度 (ppm)	備 考	研 究 者 (年)	
水 稲 (つづき)	ポット (土)	80	ヒ酸鉛使用, 地上部(穀実+ワラ)収量 約38%減	細田克己(1942) ³¹⁾	
		100	同上, 地上部収量約72%減		
		250	同上, ほとんど収穫皆無		
		80	ヒ酸カルシウム使用, 地上部(穀実+ワラ)収量約28%減		
		100	同上, 地上部(穀実+ワラ)収量約82%減		
		250	同上, ほとんど収穫皆無		
		40	ヒ酸ナトリウム使用, 地上部(穀実+ワラ)収量約22%減		
		50	同上, 地上部(穀実+ワラ)収量約45%減		
		75	同上, 地上部(穀実+ワラ)収量約78%減		
		100	同上, 枯死		
	培養液	7.5	幼植物、亜ヒ酸使用、明らかな異常発現、根は淡黄褐色化	奥田 東・高橋英一(1962) ³⁷⁾	
		11.0	同上、処理後数日で地上部は萎凋、根は黄褐色化、生育は著しく抑制される		
		15	幼植物、亜ヒ酸使用、なかば枯死		
	培養液	5	ヒ酸二ナトリウム使用、穂、茎葉、根部収量は、無添加区の29、31、46%	石塚喜明・田中 明(1962) ²⁸⁾	
		10	同上、生育極端に不良、出穂せず		
		50	同上、移植後10日以内に枯死		
	ポット (土)	500	火山灰土壌、ヒ酸ナトリウム使用、地上部、根部とも著しい生育低下	渋谷政夫ら(1972) ¹²⁾	
		100	沖積土壌、ヒ酸ナトリウム使用、地上部、根部とも著しい生育低下		
	培養液	10	吸水が著しく阻害される	九州農試土壌肥料2研(1973) ⁴⁾	
	ポット	1×10 ⁻³ M	土壌溶液中濃度、ヒ酸二ナトリウム使用、乾物生産限界濃度		渋谷政夫ら(1972) ¹²⁾
			2.5	亜ヒ酸使用、約80%減収	山根忠明ら(1974) ³⁸⁾
	培養液	2.5	ヒ酸使用、約40%減収		
	ポット (土)	10	沖積土壌、ヒ酸二ナトリウム使用、10%減収	橋本俊一・中野政行(1973) ³⁹⁾	
		120	同上、収穫皆無		
		120	火山灰土壌、同上、50%減収		
	ポット (土)	134	沖積土壌、亜ヒ酸ナトリウム使用、生育・分けつ抑制、穂数低下。 収穫時地上部・根部収量及び玄米重は、それぞれ44、47、42%低下	農事試験場水質研究室 (1973) ¹¹⁾	
		66.7	火山灰土壌、亜ヒ酸ナトリウム使用、生育・分けつ抑制。 収穫時地上部・根部収量及び玄米重は、それぞれ52、79、61%低下		
ポット (土)	150	亜ヒ酸ナトリウム使用、収穫なし	渡辺和夫・大竹俊博(1973) ¹³⁾		
	73	同上、収量は対照区の15%に低下			
ポット (土)	40	沖積土壌、生育半減濃度	亜ヒ酸カルシウム使用	堤 道雄・高橋誠助(1974) ¹⁴⁾	
	70		亜ヒ酸ナトリウム使用		
	125		ヒ酸ナトリウム使用		
	230		ヒ酸カルシウム使用		
ポット (土)	40	ヒ酸二ナトリウム使用、初期段階での生育抑制、収量低下	宮城県農業センター(1974) ⁴⁰⁾		
	160	同上、活着阻害による枯死株の発生、生育遅延傾向増大、出穂遅延、 穂揃不良、不稔穂の発生、収量激減			

2-2表 植物のヒ素障害発現とそのレベル (3)

植 物	栽 培 方 法	A s 濃 度 (ppm)	備 考	研 究 者 (年)
大 麦	培養液	15	幼植物, 亜ヒ酸使用, 処理後1週間以内に枯死。	奥田 東・高橋英一(1962) ³⁷⁾
		7.5	同上, 根色は茶灰色となり腐敗の様相を呈す。	
		3.75	同上, 下位葉より先端部から漸移的に黄化し, 茶白色化し, 枯死。	
	培養液	20	生育阻害濃度	Brenchley(1914) ⁴¹⁾
インゲン	培養液	0.8	亜ヒ酸ナトリウム使用, 地上部生育半減。	Machlis(1941) ⁴²⁾
		1	同上, 根の生育45%減。	
		2	同上, 枯死レベル	
エンドウ	培養液	4	生育阻害濃度	Brenchley(1914) ⁴¹⁾
スーダン グラス	培養液	3	亜ヒ酸ナトリウム使用, 地上部生育半減レベル	Machlis(1941) ⁴²⁾
		8	同上, 根部生育半減レベル	
		18	同上, 枯死レベル	
緑 藻	培養液	$5 \times 10^{-2} M$	ヒ酸二ナトリウム使用。光合成80%阻害, 硝酸の亜硝酸への還元も阻害される	Kessler & Bucker (1960) ⁴³⁾
カ ビ	培養液	$2.5 \times 10^{-3} M$	<i>Poria monticola</i> , ヒ酸カリウムとして。生育が完全に阻害される。	Da Costa(1972) ⁴⁴⁾
		$8 \times 10^{-2} M$	<i>Cladosporium herbarum</i> , ヒ酸カリウムとして。生育は36%低下する。	
タ バ コ	ポット	64	砂耕栽培、ヒ酸ナトリウム使用, 根に障害発現。	Small & Mc Cants(1962) ²⁷⁾

土壌を用いた場合のA s濃度は、添加濃度。ただし、土壌溶液の場合は溶液中濃度。

2-3表 作物のヒ素過剰症状 (1)

作 物	症 状	研 究 者 (年)
インゲン	葉の縁に組織の壊疽がみられる	Machlis(1941) ⁴²⁾
モ モ	葉の縁に沿って、あるいは葉脈間で褐色ないし赤褐色の斑点を生じ、やがて斑点部分が枯死する。葉の縁はギザギザとなり穴があき最後に落葉する。	Lindner(1943) ⁴⁵⁾
	盛夏に葉端に沿って褐色～赤色の変化が起こり、続いて葉脈間に変色が起こる。変色部分の組織は枯死し、穴の開いた葉となる。	Batjer & Benson(1958) ¹⁹⁾
レ モ ン	葉に焼け焦げ状の斑点を生じ、葉脈にクロロシスが起こる。	Liebig et al(1959) ¹⁹⁾
リンゴ	樹皮または木質部に変色が見られ、葉に斑点を生ずる。	Swingle(1911) ⁴⁶⁾
水 稻	葉が巻く傾向にある。死組織が桃～明赤色を呈する。	Lockard & Mc Walter(1956) ¹⁹⁾
	根は黒褐色となり、生育も極めて悪く、地上部は褐色を帯び、体勢はリン欠乏の場合とやや類似し、分けつが著しく抑制される。	石塚喜明・田中 明(1962) ²⁸⁾
	地上部は萎凋し、根は黄褐色化する。	奥田 東・高橋英一(1962) ³⁷⁾
	各葉の先端が枯死し、次に上位葉の生長が阻害され、黄化、枯死する。被害の著しい場合は下位葉にも及ぶ。高濃度の場合、最初、葉が巻く場合もある。根については、高濃度の場合、苗時代の根は褐変し、萎縮し、枯死する。新根の生長が阻害され全体が枯死する。やや濃度の低い場合、太く白い先端の丸い新根の発生は認められるが、毛根の発生は阻害される。	渡辺和夫・大竹俊博(1973) ¹³⁾
	地上部が黄褐色化し、枯死する。生育遅延	堤 道雄・高橋誠助(1974) ¹⁴⁾
	葉が巻き込み、草丈、茎数が増加せず、出穂するが完熟しない。	宮崎総合農業試験場(1974) ¹⁵⁾
	分けつ、草丈の抑制と根群の発達不良を生じ、根は褐色となり、その色は濃度が高いほど濃くなる。	山根忠明ら(1974) ³⁸⁾
小 麦	根の枯死, 地上部の生育阻害。葉が狭く堅くなり、ときに青緑色となる。	Hurd-Karrer(1939) ⁴⁷⁾
大 麦	下位葉より先端部から漸移的に黄化を起こし、次第に茶白色化し枯死する。根は茶灰色となり腐敗の様相を呈する。	奥田東・高橋英一(1962) ³⁷⁾

2-3表 作物のヒ素過剰症状 (2)

作物	症状	研究者 (年)
エンバク	葉身が細くなり色がうすくなる。	Morris & Swingle(1927) ^{4,8)}
スーダン グラス	葉の先端に組織の壊疽がみられる。根は軟弱となり赤味を帯びる。高濃度では太根が暗赤色となり、組織の破壊がみられる。	Machlis(1941) ^{4,2)}

2-4表 水質汚濁に係る基準 (ppm)

	環境基準*	水質基準 (最大) **
ヒ素	< 0.05	0.5

*: 水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準 (環境庁告示第59号)

** : 水質保全部による水質基準 (昭和45年8月1日告示)

2-5表 食品, 添加物等の規格基準 (ppm)

	ヒ素 (As ₂ O ₃ として)
清涼飲料水*	0.2
野菜, 果物 (残留農薬として) **	
ナツミカン (皮)	3.5
〃 (実)	1.0
日本ナシ	3.5
ブドウ	1.0
モモ	1.0
リンゴ	3.5
イチゴ	1.0
キュウリ	1.0
トマト	1.0
バレイショ	1.0
ハウレンソウ	1.0
食品添加物***	1~5

*: 厚生省告示第370号 (昭和34年12月28日)

** : 〃 第404号 (昭和46年12月20日)

*** : 〃 第68号 (昭和41年2月27日)

2-6表 植物体のヒ素(1-1)

植物名 (学名)	栽培 様式	組 織	齢・生育段階・産地条件・採取時等	As ppm (乾物)					研 究 者・()年
				欠 乏	低	中	高	過 剰	
キャベツ (<i>Brassica oleracea capitata</i>)	圃 場	可食部	埼玉産、11月			0.09*			藤本雄一ら(1970) ¹⁾
			埼玉産、12月			0.10*			
			高知産、2月			0.04*			
			埼玉産、3月			0.05*			
	圃 場	可食部	東京産、6月			0.06*			藤本雄一・中村広明(1971) ²⁾
			東京産、7月			0.25*			
露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種 早どり			0.30			農業技術研究所化学部 土壌化学第3研究室(1974) ³⁾	
		収穫期、沖積土、品種 長岡早春			0.19				
カリフラワー	露 地	可食部	収穫期、品種 スノーQueen、火山灰洪積土			0.19			
ブロッコリー	露 地	可食部	収穫期、品種 トリ早生、火山灰洪積土			0.30			
レタス	圃 場	可食部	長野産、7月			0.33*		藤本雄一・中村広明(1971) ²⁾	
	露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種 ベンルク			0.23		農業技術研究所化学部 土壌化学第3研究室(1974) ³⁾	
サラダナ	露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土			0.46		農業技術研究所化学部 土壌化学第3研究室(1974) ³⁾	
ハクサイ	圃 場	可食部	千葉産、5月			0.05*		藤本雄一・中村広明(1971) ²⁾	
	露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種 交配60日			0.10		農業技術研究所化学部 土壌化学第3研究室(1974) ³⁾	
ホウレンソウ (<i>Spinacia oleracea</i>)	圃 場	可食部	埼玉産、12月			0.29*		藤本雄一ら(1970) ¹⁾	
			埼玉産、2月			0.13*			
			東京産、4月			0.35*			
			東京産、11月			0.33*			
			千葉産、9月			0.29*			
			収穫期、沖積土、品種 王将			0.21			
ネギ	露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種 夏ホリ			0.46		農技研化学部土壌化学3研(1974) ³⁾	
タマネギ	圃 場	可食部	香川産、6月			0.08*		藤本雄一・中村広明(1971) ²⁾	
アスパラガス	露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種 リーワシントン			0.13		農技研化学部土壌化学3研(1974) ³⁾	
カブ	圃 場	可食部	千葉産、5月			0.05*		藤本雄一・中村広明(1971) ²⁾	
ニンジン	露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種 新黒			0.36		農技研化学部土壌化学3研(1974) ³⁾	
ゴボウ	圃 場	可食部	東京産、11月			0.70*		藤本雄一・中村広明(1971) ²⁾	
			東京産、12月			0.50			
ダイコン (<i>Raphanus sativus</i>)	露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種 白秋			0.33		農業技術研究所化学部 土壌化学第3研究室(1974) ³⁾	
			収穫期、沖積土、品種 西町理想			0.26			
	圃 場	茎 葉	収穫期、宮崎県下ヒ素汚染地				13.20		九州農業試験場環境第2部 土壌肥料第2研究室(1973) ⁴⁾
圃 場	根	土壌中 As 168ppm				2.16			
サトイモ	露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種 石川早生			0.3		農技研化学部土壌化学3研(1974) ³⁾	
ジャガイモ (<i>Solanum tuberosum</i>)	圃 場	可食部	千葉産、6月			0.68*		藤本雄一・中村広明(1971) ²⁾	
	露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種 男爵			0.21		農業技術研究所化学部 土壌化学第3研究室(1974) ³⁾	
			収穫期、沖積土、品種 男爵			0.21			
	圃 場	可食部	収穫期、宮崎県下As(70.4ppm)汚染地				0.46	九州農試環境2部土肥2研(1973) ⁴⁾	
サツマイモ	露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土			0.12		農業技術研究所化学部	
カボチャ	露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種 エビス			0.09		土壌化学第3研究室(1974) ³⁾	

カリフラワー: *Brassica oleracea botrytis*、ブロッコリー: *Brassica oleracea italica*、レタス: *Lactuca sativa*、ハクサイ: *Brassica campestris amplexicaulis*、サラダナ: *Lactuca sativa*、アスパラガス: *Asparagus officinalis*、ネギ: *Allium fistulosum*、タマネギ: *Allium cepa*、カブ: *Brassica rapa*、ニンジン: *Daucus carota*、ゴボウ: *Arctium lappa*、サトイモ: *Colocasia esculenta*、ジャガイモ: *Ipomeea batatas*、カボチャ: *Cucurbita moschata*、*: As₂O₃として

2-6表 植物体のヒ素 (1-2)

植 物 名 (学 名)	栽 培 様 式	組 織	齢・生育段階・産地条件・採取時等	A s ppm (乾物)					研 究 者・()年
				欠 乏	低	中	高	過 剰	
ト マ ト (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	圃 場	可食部	日光産			0.06*			藤本雄一ら(1970) ¹⁾
			神奈川、埼玉産、6月			0.05*			
			高知産、3月			0.15*			
			静岡産、4月			0.35*			
			茨城産、6月			0.72*			
			東京産、7月			0.10*			
	ハウス 露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種 ヒカリ				5.49		農業技術研究所化学部土壌化学 第3研究室(1974) ³⁾
	ナ ス (<i>Solanum melongena</i>)	圃 場	果 実	埼玉産、6月			0.06*		
			埼玉・茨城産、6月			0.04*			
果 実			成熟			0.08*			渡辺孝弘ら(1971) ⁵⁾
葉						0.53*			
茎						0.20*			
根						0.98*			
果 実			成熟			0.08*			
葉			成熟			0.65*			
茎			開花期にAs10mg/個体施用			0.30*			
根						1.23*			
果 実		成熟			0.10*				
葉		開花期にAs20mg/個体施用			0.85*				
茎					0.27*				
根					1.35*				
露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種群交2号			0.90			農業技術研究所化学部 土壌化学第3研究室(1974) ³⁾	
キ ュ ウ リ (<i>Cucumis sativus</i>)	圃 場	果 実	収穫期、沖積土、品種千両2号			0.94			藤本雄一ら(1970) ¹⁾
			埼玉産、6月			0.04*			
			埼玉・茨城産、6月			0.03*			
			高知産、4月			0.33*			
			埼玉産、5月			0.48*			
			東京産、7月			0.28*			
			東京産、7月			0.23*			
			埼玉産、9月			0.18*			
	温 室 (土)	果 実	成熟			0.20*			渡辺孝弘・後藤真康(1970) ⁶⁾
			成熟、活着後ヒ酸鉛2.5mg添加			0.20*			
			〃 25mg添加			0.20*			
			〃 125mg添加			0.20*			
		果 実	成熟			0.20*			
		葉				0.50*			
茎				0.20*					
根				3.00*					
果 実	成熟			0.20*					
葉	成熟				>2.40*				
茎	活着後ヒ酸鉛2.5mg添加			0.20*					
根						14.00*			

* : As₂O₃として

2-6表 植物体のヒ素 (1-3)

植 物 名 (学 名)	栽 培 様 式	組 織	齢・生育段階・産地条件・採取時等	A s ppm (乾物)					研 究 者・()年
				欠 乏	低	中	高	過 剰	
キ ュ ウ リ (つづき)	温 室 (土)	果 実	成熟			0.10*			渡辺孝弘・後藤真康(1970) ⁶⁾
			活着後ヒ酸鉛25mg添加			0.20*		1.60*	
								15.00*	
		葉 茎 根	成熟					> 3.20*	
			活着後ヒ酸鉛125mg添加			0.30*		>32.0*	
露 地	可食部	収穫期、火山灰洪積土、品種マヤシマ					1.65	農業技術研究所化学部 土壌化学第3研究室(1974) ³⁾	
	露 地	8月収穫、火山灰洪積土、品種ニシキ					1.71		
イ チ ゴ (<i>Fragaria ananassa</i>)	圃 場	果 実	埼玉産、4月			0.09*		藤本雄一・中村広明(1971) ²⁾	
		トシル	果 実	成熟、品種ダナー			0.10*		藤本雄一・中村広明(1971) ⁷⁾
	同上、有機ヒ素剤1回散布				0.38*				
	〃 3回散布			0.54*					
〃 5回散布			0.73*						
リ ン ゴ (<i>Malus pumila</i>)	圃 場	果 実	青森産、5月			0.27*		藤本雄一ら(1970) ¹⁾	
			青森産、7月			0.42*			
			青森産、11月			0.04*			
			山形産、12月			0.05*			
			青森産、11月			0.10*			
			青森産、3月			0.05*			
			青森産、7月			0.25*			
			青森産、11月			0.53*			
			長野産、12月			0.65*			
			果 皮	成熟、品種紅玉			2.10		
		同上、ジョナサン [®] ツト発生果				2.00-2.10		苦名 孝(1973) ⁸⁾	
		成熟、山形・山梨産、6月				0.04*		藤本雄一ら(1970) ¹⁾	
		サ ク ラ ン ボ ブ ド ウ (<i>Vitis spp.</i>)	圃 場	果 実	全果実	As無散布		0.05	
果 皮	無袋					0.09			
果 肉						0.03			
圃 場	全果実			有機ヒ素散布			0.28		
	果 皮			21日後収穫			0.53		
	果 肉			無袋			0.16		
	全果実			成熟			0.31		
	果 皮			品種キャンベル・アーリー			0.84		
	果 肉			樹齢5年			0.12		
	全果実			有機ヒ素散布			0.37		
	果 皮			5日後収穫			0.87		
	果 肉			無袋			0.09		
	全果実			有機ヒ素散布			0.97		
	果 皮			1日後収穫			2.76		
果 肉	無袋			0.04					

ヒーマン: *Capsicum annuum*, サクランボ: *Purunus avium*, *: As₂O₃として

2-6表 植物体のヒ素 (1-4)

植物名 (学名)	栽培様式	組織	齢・生育段階・産地条件・採取時等	As ppm (乾物)				研究者・()年		
				欠乏	低	中	高		過剰	
ブドウ (つばき)	圃場	全果実	有機ヒ素散布 11日後収穫 有袋				0.13		太田敏輝ら(1963) ⁹⁾	
		果皮					0.29			
		果肉		成熟			0.04			
		全果実		品種キャンベル・アーリー			0.24			
		果皮		樹齢5年	有機ヒ素散布 1日後収穫 有袋			0.48		
モモ (<i>Prunus persica</i>)	圃場	果実	山梨産、7月			0.15*		藤本雄一ら(1970) ¹⁾		
可食部		山梨産、7月			0.25*		藤本雄一・中村広明(1970) ²⁾			
日本ナシ (<i>Pyrus pyrifolia</i>)	圃場	果実	収穫期、火山灰洪積土				1.77	農技研化土化3研(1974) ³⁾		
		可食部	埼玉産、9月			0.30*		藤本雄一・中村広明(1970) ²⁾		
			火山灰洪積土、品種長十郎			0.22		農業技術研究所化学部 土壌化学第3研究室(1974) ³⁾		
カキ (<i>Diospyros kaki</i>)	圃場	果実	沖積土、品種長十郎、石ナシ			0.09				
可食部		和歌山産、11月			0.28*		藤本雄一・中村広明(1970) ²⁾			
ウメ	圃場	可食部	和歌山産、12月			0.55*				
クワ	圃場	可食部	沖積土、品種前川早生次郎			0.13		農業技術研究所化学部 土壌化学第3研究室 ³⁾		
温州ミカン	圃場	可食部	沖積土、品種鶯宿			0.19		(1974) ³⁾		
ナツミカン (<i>Citrus natsudaidai</i>)	圃場	果実	沖積土、品種筑波			0.16				
		果皮	佐賀産、12月			0.18*		藤本雄一・中村広明(1970) ²⁾		
		果実	愛媛産、成熟、5月採取	種子有			0.12*		藤本雄一・中村広明(1970) ²⁾	
		果実	愛媛産、成熟、5月採取	種子無			0.13*			
		果皮	愛媛産、成熟、5月採取	種子有			0.40*			
果皮	愛媛産、成熟、5月採取	種子無			0.90*					
水稲 (<i>Oryza sativa</i>)	培養液	穂	静岡産、成熟、6月採取	種子有			1.30*			
		茎葉	静岡産、成熟、6月採取	種子無			0.33*			
		根	静岡産、成熟、6月採取	種子無			0.33*			
	圃場	穂	収穫期、 As 0, 0.1, 1, 5, 10ppm添加 ヒ酸二ナトリウム使用				1.2	1.9	2.0	石塚喜明・田中 明(1962) ²⁸⁾
		白米				0.7	14- 45	200- 766		
		玄米				4.3	53-183	542-1150		
		白米	有機ヒ素剤 無散布水田			0.33*				藤本雄一ら(1972) ¹⁰⁾
		玄米	有機ヒ素剤 無散布水田			0.53*				
		わら	成熟、北海道空知郡 (土壌中As13.5ppm)	有機ヒ素剤 2回散布水田			4.75*			
		白米				0.30*				
		玄米				0.35*				
		わら				4.00*				
		玄米	成熟	有機ヒ素剤 無散布				0.68*		
		わら	北陸農業試験場 水田圃場	有機ヒ素剤 無散布				7.50*		
玄米	水田圃場	有機ヒ素剤 1~3回散布				1.18- 1.65*				
わら	(土壌中As55ppm)	有機ヒ素剤 無散布				7.40-10.80*				
白米	成熟	有機ヒ素剤 無散布			0.40*					
玄米	神奈川県農業総合研究所水田	有機ヒ素剤 無散布			0.45*					
わら	(土壌中As20ppm)	有機ヒ素剤 無散布			3.90*					

ウメ: *Prunus mume*、クワ: *Castanea crenata*、温州ミカン: *Citrus unshiu*、*: As₂O₃として

2-6表 植物体のヒ素 (1-5)

植 物 名 (学 名)	栽 培 式	組 織	齢・生育段階・産地条件・採取時等	As ppm (乾物)			研 究 者・()年			
				欠 乏	低	中		高	過 剰	
水 (つづき)	圃 場	白 米	成熟 有機ヒ素剤 2回散布 神奈川県農業総合研究所水田 (土壤中As20ppm)				0.70*		藤本雄一ら(1972) ¹⁰⁾	
		玄 米					0.80*			
		わ ら					4.75*			
		玄 米		成熟 有機ヒ素剤 九州農業試験場水田 (土壤中As57.5ppm)				0.55*		
		わ ら			無散布			5.10*		
		わ ら			有機ヒ素剤 1~2回散布			0.7-0.80*		
					5.75-6.75*					
	ポット	玄 米	成熟、品種 日本晴、沖積土壌			0.12			農事試験場環境部 水質研究室(1973) ¹¹⁾	
		籾 殻				0.63				
		枝 梗				2.00				
		葉 身				0.95				
		葉 鞘				0.71				
		上位稈				1.50				
		下位稈				0.68				
	根			9.60						
	ポット	玄 米	成熟、品種：日本晴、火山灰土壌			0.15			農事試験場環境部 水質研究室(1973) ¹¹⁾	
		籾 殻				0.95				
		枝 梗				2.50				
		葉 身				2.60				
		葉 鞘				1.50				
		上位稈				3.20				
下位稈					8.15					
根			49.00							
圃 場	玄 米	品種：日本晴	栃木県農業試験場			0.10		農事試験場環境部 水質研究室(1973) ¹¹⁾		
			埼玉県農業試験場			0.22				
			群馬県農業試験場			0.09				
			農事試験場			0.10				
			山梨県農業試験場			0.13				
			茨城県農業試験場			0.13				
			千葉県農業試験場			0.18				
			品種：クブエ 神奈川県農業総合研究所			0.11				
			品種：トロキヤ 長野県農業試験場			0.18				
			品種：秋晴 同上下伊那分場			0.11				
ポット	根	収穫期、栃木土壌			6.43		渋谷政夫ら(1972) ¹²⁾			
ポット	葉 身	収穫期、栃木火山灰土壌 As 10-1000ppm添加			0.88	19.44				
	葉 鞘				0.19	8.50				
	稈				0.38	9.38				
	茎 葉				0.46	11.90		42.18-69.72		
	玄 米				tr.	0.31				
籾殻+しいな			0.64	1.06	2.48- 7.89					
根					76-805	1814-4025				

* : As₂O₃として

2-6表 植物体のヒ素 (1-6)

植 物 名 (学 名)	栽 培 様 式	組 織	齢・生育段階・産地条件・採取時等	A s ppm (乾物)					研 究 者・()年
				欠 乏	低	中	高	過 剰	
水 (つづき)	ポット	葉身	収穫期、岐阜沖積土壌			2.63			渋谷政夫ら(1972) ^{1,2)}
		葉鞘				2.01			
		稈				4.50			
		茎葉				3.14			
		玄米				0.20			
		籾殻+しいな				0.75			
		根				139			
	ポット	葉身	収穫期、岐阜沖積土壌 As 10-1000ppm 添加				20		
		葉鞘					8.5		
		稈					13.5		
		茎葉					13.55	43.25-309	
		玄米					0.31		
	ポット	籾殻+しいな				0.94	1.37		
		根				317	2540-2871		
	ポット	玄米	畑土壌			0.24			
			As24mg添加			0.28			
		果樹園土壌	果樹園土壌			0.48			
			果樹園転換水田土壌	被害大			0.26		
		被害小			0.46				
ポット	茎葉	品種レイナ As22.2ppm 含有大分土壌	最高分けつ期			4.70			
	もみ		幼穂形成期			3.80			
圃 場	茎葉	品種コガネニシキ ヒ素汚染水田	出穂期			3.60			
			収穫期			0.06			
	根		田植時				2		
			最高分けつ期				43		
	根		最高分けつ期				24		
			幼穂形成期				1406		
	子実		幼穂形成期				15.3		
			出穂期				1050		
	根		出穂期				2.9		
			収穫期				10.3		
	子実		出穂期				1000		
			収穫期				0.4		
根	収穫期				12.9				
	幼穂形成期				991				
子実	土壤As347ppm	土壤As347ppm	幼穂形成期			9.5			
	宮崎県下 ヒ素汚染水田	土壤As336ppm	幼穂形成期			595			
根	土壤As336ppm	土壤As336ppm	幼穂形成期			0.2			
	土壤As336ppm	土壤As336ppm	幼穂形成期			12			
			収穫期			254			

* : As₂O₃として

2-6表 植物体のヒ素 (1-7)

植 物 名 (学 名)	栽 培 様 式	組 織	齢・生育段階・産地条件・ 採取時等	As ppm (乾物)					研 究 者・()年			
				欠 乏	低	中	高	過 剰				
水 稻 (つづき)	圃 場	玄 米	品種:レイホウ、福岡、水分14.3%			0.29*			九州農業試験場 環境第2部土壤肥料 第2研究室(1973) ⁴⁾			
			同上、佐賀、" 14.5			0.16*						
			品種:コガネノシ、長崎、" 14.1			0.22*						
			品種:レイホウ、熊本、" 14.0			0.17*						
			同上、大分、" 13.7			0.09*						
			同上、鹿児島、" 14.5			0.26*						
			同上、九州農試筑後 " 14.6			0.19*						
						0.02						
	ポット	玄米 茎葉 根	成熟 品種:日本晴 沖積土壌 As20-625ppm添加	ヒ素無添加			1.4			堤 道雄・高橋誠助 (1974) ^{1,4)}		
					玄米 茎葉 根	亜ヒ酸 ナトリウム使用			11.3			
											0.12-0.13	
		玄米 茎葉 根	ヒ酸 ナトリウム使用					12.7-16.8	224			
								310-480	1360-3380			
								0.11-0.40				
		玄米 茎葉 根	亜ヒ酸 カルシウム使用					16.80-19.50	100			
									1350-4600			
								0.15-0.42				
		玄米 茎葉 根	ヒ酸 カルシウム使用					20.50-23.60	36-208			
								160	950-3950			
								0.15-0.16	0.56			
	ライシ メータ	葉 稈 根	収穫期 品種:レイホウ	ヒ素非汚染 水田土壌			0.05-0.08			宮崎県総合農業試験場 化学部(1974) ^{1,5)}		
							0.10-0.20					
							146					
		玄米 葉 稈 根	ヒ素汚染 水田土壌					0.07				
								33.1				
								16.1				
	圃 場	茎 葉 穂	中国地方 ヒ素集積水田	水口部 中央部 出穂期					5.25-7.02	中国農業試験場 土壤肥料第1研究室 (1974) ^{1,6)}		
					玄米 茎葉 穂	かんがい水As含有	成熟期 中央部 成熟期					
								2.54-5.00				
								0.21-0.30				
玄米 茎葉		成熟期、同上ヒ素集積水田隣接田, 沢水かんがい、生育良好					6.92-7.75					
							0.08-0.12					
							2.66-4.86					
						0.05						
						2.17						

*:水稻1~7行:含水物当たり

2-6表 植物体のヒ素(1-8)

植 物 名 (学 名)	栽 培 様 式	組 織	齢・生育段階・産地条件・ 採取時等	A s ppm (乾物)					研 究 者・()年
				欠 乏	低	中	高	過 剰	
小 麦 (<i>Triticum aestivum</i>)	圃 場	子 実	品種:ヒヨコムギ、水田、佐賀、水分12.0%			0.02*			九州農業試験場 環境第2部土壤肥料 第2研究室(1973) ⁴⁾
			品種:農林61号、"、熊本、" 14.0			0.04*			
			品種:農林60号、"、宮崎、" 12.7			0.05*			
			品種:農林36号、"、宮崎、" 12.6			0.12*			
			品種:タンコムギ、畑シラス、鹿児島、" 12.0			0.06*			
			品種:オマセコムギ、畑多腐植、鹿屋、" 11.9			0.05*			
		子 実	土壤中As含量			0.06-0.28			
		茎 葉	34.0-413ppm			0.21-1.62			
		根	宮崎県下ヒ素汚染地			9.12-102.92			
		子 実	土壤中As含量			0.08-0.18			
茎 葉	54.6-176.4ppm			0.39-1.62					
根	m			5.68-22.84					
大 麦(<i>Hordeum vulgare</i>)	圃 場	子 実	品種:西海皮1号、九農試筑後水田、水分11.7%			0.02*			
			品種:西海皮2号、九農試都城畑、" 12.4			0.07*			
二 条 大 麦 (<i>Hordeum disticum</i>)	圃 場	子 実	品種:成城17号、佐賀、水田、" 10.1			0.03*			
			品種:成城17号、熊本、水田、" 9.5			0.05*			
			品種:成城17号、宮崎、畑、" 12.6			0.06*			
			品種:博多2号、宮崎、畑、" 12.4			0.07*			
			品種:成城17号、鹿児島畑、" 11.0			0.05*			
		子 実	土壤中As189.9ppm含有の宮崎県下			0.11			
		茎 葉	ヒ素汚染地、収穫期			1.15			
根				17.97					
裸 麦 (<i>Hordeum vulgare</i>)	圃 場	子 実	品種:佐賀裸1号、佐賀、水田、水分13.0%			0.04*			
			品種:九州裸3号、熊本、水田、" 13.2			0.06*			
			品種:宮崎裸、宮崎、畑、" 12.0			0.14*			
			品種:ナンブウ裸、宮崎、畑、" 12.2			0.10*			
			品種:カイモン裸、鹿児島畑シラス、" 10.8			0.02*			
トウモロコシ	圃 場	可食部	品種:ハコバンタム、収穫期、火山灰洪積土			0.12		農技研土化3研(1974) ³⁾	
ソ ラ マ メ (<i>Vicia faba</i>)	圃 場	茎 葉	収穫期、宮崎県下ヒ素汚染畑、			0.76		九州農業試験場環境2部 土壤肥料第2研(1973) ⁴⁾	
		子 実	土壤中 As 64.2ppm			0.17			
ダ イ ズ (<i>Glycine max</i>)	圃 場	茎 葉	開花期、宮崎県下ヒ素汚染畑、			0.40			
ソ ル ゴ ー	圃 場	地上部	9月 愛媛県大州市			tr.		四国農業試験場栽培部 土壤肥料第1研究室 (1973) ¹⁷⁾	
			香川県観音寺市			0.4			
ジョンソングラス	圃 場	地上部	9月 高知県土佐山田町北組			tr.			
ネピアグラス	圃 場	地上部	9月 高知県土佐山田町小田島			tr.			
シコクビエ (<i>Eleusine coracana</i>)	圃 場	地上部	9月 愛媛県土居町			0.09			
			徳島県上板町瀬部			0.01			
			香川県長尾町			0.04			
			四国農業試験場			0.04			

トウモロコシ: *Zea mays*、ソルゴ-: *Sorghum bicolor*、ジョンソングラス: *Sorghum halepensis*、ネピアグラス: *Pennisetum purpureum*、

*: 含水物当たり

2-6表 植物体のヒ素 (1-9)

植 物 名 (学 名)	栽 培 式 様	組 織	齢・生育段階・産地条件・採取時等	A s ppm (乾物)				研 究 者・()年	
				欠 乏	低	中	高		過 剰
イタリアン ライグラス (<i>Lolium multiflorum</i>)	圃 場	全 植 物	5月下旬、宮崎県下ヒ素汚染畑、 土壤中 As 91.2 ppm				1.10	九州農業試験場環境2部 土壤肥料第2研(1973) ⁴⁾	
		圃 場	地 上 部	5月	愛媛県土居町			0.09	
	" 大州市						0.08		
	高知県土佐山田町北組						0.05		
	" 小田島						0.01		
	徳島県上板町高瀬						0.05		
	" 瀬部						0.01		
	" 白鳥町						0.02		
	香川県観音寺市						0.06		
	" 長尾町			0.02					
四国農業試験場			0.03						
ヒ エ	圃 場	地 上 部	9月、徳島県白鳥町、しろびえ			0.19**			
メ ヒ シ バ	圃 場	地 上 部	9月、徳島県上板町高瀬			0.05			
茶 (<i>Thea sinensis</i>)	圃 場	葉と葉柄	静岡産、6月			0.40*		藤本・中村(1971) ²⁾	
	圃 場	葉	完熟、福岡	土壤中 As 3.5 ppm			0.06		茶業試験場 土壤肥料研究室 (1974) ^{1,8)}
				12.25ppm			0.06		
				6.75ppm			0.17		
				18.10ppm			0.17		
				19.5 ppm			0.21		
				22.75ppm			0.45		
27.75ppm			0.55						
ギ シ ギ シ	自 生	全 植 物	ヒ素汚染地(As11.0ppm)				2.00	九州農業試験場環境2部	
紀州スズメノヒエ	自 生	全 植 物	ヒ素汚染地(As10.5-19.6ppm)				2.00-2.40	土壤肥料第2研究室	
コ ケ	自 生	全 植 物	ヒ素汚染地(As16.1ppm)				9.90	(1973) ⁴⁾	

ヒエ: *Panicum crus-galli*、メヒシバ: *Digitaria ciliaris*、ギシギシ: *Rumex japonicus*、**:ヒ素汚染地?、*: As₂O₃として、

2-6表 植物体のヒ素(2-1)

植 物 名 (学 名)	栽 培 式 様	組 織	齢・生育段階・ 産地条件・採取時	As ppm (乾物)					研究者・()年	
				欠 乏	低	中	高	過 剰		
マンダリンオレンジ モモ (<i>Prunus persica</i>)	圃 場	可食部	成熟			0.85			Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
		果実	成熟			0.14			Von Fellenberg(1929) ¹⁹⁾	
	圃 場	葉	正常葉			1.00			Lindner(1943) ¹⁹⁾	
			傷害葉			1.30	5.20			
			ZnEDTA無散布			1.75-2.39			Batjer & Benson(1958) ¹⁹⁾	
ZnEDTA散布			1.28-2.24							
西洋ナシ (<i>Pyrus communis</i>)	圃 場	可食部	成熟			0.51		Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾		
		果肉				0.046*		Haller et al.(1968) ²⁸⁾		
ア ン ス	圃 場	葉	成熟(傷害葉)				6.10		Lindner(1943) ¹⁹⁾	
サクランボ			成熟(わずかに傷害)				8.60			
西洋スモモ			成熟				13.00			
ブドウ(<i>Vitis</i> spp)		可食部	成熟			2.30			Herrmann & Kretzdorn(1939) ¹⁹⁾	
ク リ	圃 場	果実	成熟			0.11			Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
リンゴ (<i>Malus pumila</i>)			上位枝 成熟 中位枝 ヒ酸鉛散布後 下位枝 58日目収穫			0.15-0.20				Tew et al.(1964) ²²⁾
						0.24-0.41				
					1.08-1.11					
果肉		成熟			0.018*			Haller et al.(1968) ²³⁾		
果実		-----	成熟	-----			0.36		Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
							0.07-0.19			Von Fellenberg(1929) ¹⁹⁾
							0.30-0.70			Shtenberg(1941) ¹⁹⁾
							0.19			Frehe & Tietz(1959) ²⁰⁾
			0.21							
		0.25								
果実	成熟、 有機ヒ素剤10回散布	-----	-----			0.17				
						0.50				
						0.90				
果実	成熟 64日目収穫 ヒ酸鉛散布後 42-51日目 収穫	-----	-----			1.89-2.96		Tew et al.(1964) ²¹⁾		
						0.85-1.22				
バナナ (<i>Musa</i> spp)	圃 場	果肉	成熟			0.33		Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾		
		葉				tr.-0.50		Fergus(1955) ¹⁹⁾		
グレープフルーツ	温 室	葉	成熟、砂耕栽培			2.00-3.00	48-116		Roy(1943) ¹⁹⁾	
オレンジ (<i>Citrus sinensis</i>)	圃 場	可食部	成熟			0.99			Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
		果汁	成熟			0.008-0.12				
		果皮	未成熟			0.80			Miller et al.(1933) ¹⁹⁾	
		果肉	〃			0.35				
レモン (<i>Citrus limon</i>)	温 室	葉	新梢			0.15	0.75	1.05	Liebig et al.(1959) ²⁴⁾	
		枝	新梢			0.05	0.45	0.80		
		葉	古梢			0.10		6.97-11.2		
	培養液	枝	古梢				0.60	2.05		
		根				0.15	20-113	600-1200		
		果皮	未成熟				0.80			
		果肉					0.35			

マンダリンオレンジ: *Citrus seticulata*、アンス: *Prunus armeniaca*、サクランボ: *Prunus avium*、西洋スモモ: *Prunus domestica*、グレープフルーツ: *Citrus paradisi*、
*: 新鮮物当たり、

2-6表 植物体のヒ素(2-2)

植 物 名 (学 名)	栽 培 式	組 織	齢・生育段階・ 産地条件・採取時	A s ppm (乾物)					研究者・()年
				欠 乏	低	中	高	過 剰	
レ モ (つづき)	培養液	葉	発芽13ヶ月目にヒ酸処理、 処理9ヶ月目 (木部)				11.20		Liebig et al. (1959) ²⁴⁾
		枝					2.05		
		枝					0.52		
		枝					1.60		
		根				261			
		葉	発芽13ヶ月目に亜ヒ酸 処理、処理9ヶ月 (木部)				6.10		
		枝					1.50		
		枝					0.50		
枝					1.70				
根				611					
大 麦 (<i>Hordeum vulgare</i>)	圃 場 温 室 (土)	穀 粒	成熟			0.55		Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
		地上部					12.30	Vandecaveye et al. (1936) ¹⁹⁾	
	根					1245			
	圃 場	穀 粒				0.10		Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	
小 麦	圃 場	穀 粒	成熟			0.15		Haller et al. (1968) ²³⁾	
						0.30		Von Fellenberg(1929) ¹⁹⁾ Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	
エ ン バ ク (<i>Avena sativa</i>)	圃 場	地上部	成熟			0.62		Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
		わら				3.40		Grimmett(1939) ¹⁹⁾	
		穀 粒				2.28			
キ ビ	温 室	穀 粒	成熟				53.0	Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	
ト マ ト (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	圃 場	果 実	成熟			1.00		Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	
						1.43-2.95		Shtenberg(1941) ¹⁹⁾	
						0.08-0.10			
		つる			6.80	11.50	Jones & Hatch(1945) ¹⁹⁾		
	---	根			0.26	12.90			
西 洋 カ ボ チ ャ (<i>Cucurbita maxima</i>)	圃 場	果 実	成熟			1.95		Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
						0.023-0.034		Mc Lean et al. (1944) ¹⁹⁾	
ア メ リ カ ボ ウ フ ウ	圃 場	根	成熟			0.20		Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	
ジ ャ ガ イ モ (<i>Solanum tuberosum</i>)	圃 場	地上部	成熟			0.31		Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
		塊 茎				0.034		Von Fellenberg(1929) ¹⁹⁾	
		塊 茎				0.20		Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	
		塊 茎				0.10-1.25		Shtenberg(1941) ¹⁹⁾	
		塊 茎				0.019-0.038		Mc Lean et al. (1944) ¹⁹⁾	
ホ ウ レ ン ソ ウ	圃 場	可食部	成熟			0.77		Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
オ ラ ン ダ ガ ラ シ		可食部				2.10			
オ ラ ン ダ チ シ ャ		地上部				0.21		Von Fellenberg(1929) ¹⁹⁾	
セ ル リ ー (<i>Apium graveolens</i>)	圃 場	全植物	成熟			2.32		Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
		茎				0.60		Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	

小麦: *Triticum aestivum*、キビ: *Setaria* or *Panicum*、アメリカウワウ(パースニップ): *Pastinaca sativa*、ホウレンソウ: *Spinacia oleracea*、
オランダガラシ(ケソウ): *Nasturtium officinale*、オランダチシャ=レタス、*: 新鮮物当たり、

2-6表 植物体のヒ素(2-3)

植 物 名 (学 名)	栽 培 式 様 圃 場	組 織	齢・生育段階・ 産地条件・採取時	A s ppm (乾物)					研究者・()年	
				欠 乏	低	中	高	過 剰		
パセリ (<i>Petroselinum crispum</i>)	圃 場	葉	成熟			0.10			Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	
ニンジン (<i>Daucus carota sativa</i>)	圃 場	根	成熟			0.40			Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
						0.80			Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	
						0.09-0.40			Shtenberg(1941) ¹⁹⁾	
						tr.			Mc Lean et al. (1944) ¹⁹⁾	
						0.00-0.57			Jones & Hatch(1945) ¹⁹⁾	
ハツカダイコン (<i>Raphanus sativus</i>)	圃 場	根	成熟			1.80			Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
		地上部				0.17-0.61			Mc Lean et al. (1944) ¹⁹⁾	
		根				0.17-0.27				
タマネギ (<i>Allium cepa</i>)	圃 場	球根	成熟			0.12			Von Fellenberg(1929) ¹⁹⁾	
		地上部				0.30-1.71			Mc Lean et al. (1944) ¹⁹⁾	
		球根				0.015-0.08			Jones & Hatch(1945) ¹⁹⁾	
		地上部				3.13				8.90
球根	0.36									
キュウリ (<i>Cucumis sativus</i>)	圃 場	果実	成熟			0.09-2.40			Shtenberg(1941) ¹⁹⁾	
ナス (<i>Solanum melongena</i>)	圃 場	果実	成熟			0.02			Mc Lean et al. (1944) ¹⁹⁾	
アスパラガス (<i>Asparagus officinalis</i>)	圃 場	葉	成熟			0.18-0.77			Shtenberg(1941) ¹⁹⁾	
						tr.			Mc Lean et al. (1944) ¹⁹⁾	
						0.99			Jones & Hatch(1945) ¹⁹⁾	
フダンソウ (<i>Beta vulgaris</i>)	圃 場	葉	成熟			0.75			Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
		地上部				0.61			Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	
		根				0.20				10.00
		圃 場				根			0.13	Jones & Hatch(1945) ¹⁹⁾
						根			0.13-0.65	
						地上部			0.08-0.12	
						地上部			0.08-0.13	
地上部	1.47	3.50								
根	0.34-1.29									
根	1.27	20-30								
ブロッコリー (<i>Brassica oleracea italica</i>)	圃 場	可食部	若芽と茎			tr.			Mc Lean et al. (1944) ¹⁹⁾	
キャベツ (<i>Brassica oleracea capitata</i>)	圃 場	地上部	成熟			1.30			Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
						0.28-1.66			Shtenberg(1941) ¹⁹⁾	
ケール (<i>Brassica oleracea acephala</i>)	圃 場	葉	成熟			0.27-0.99			Jones & Hatch(1945) ¹⁹⁾	
		根				0.39				17.60
カリフラワー (<i>Brassica oleracea botrytis</i>)	圃 場	頭部	成熟			0.86			Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
スウェーデンカブ (<i>Brassica napobrassica</i>)	圃 場	根	成熟			0.80			Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	
カブ (<i>Brassica rapa</i>)	圃 場	葉	成熟			1.54			Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
		根				0.83				
		地上部				1.00			Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	
		根				0.70				

パセリ: *Petroselinum crispum*、アスパラガス: *Asparagus officinalis*、ブロッコリー: *Brassica oleracea italica*、キャベツ: *Brassica oleracea capitata*、ケール(フリメンキャベツ): *Brassica oleracea acephala*、カリフラワー: *Brassica oleracea botrytis*、スウェーデンカブ: *Brassica napobrassica*、

2-6表 植物体のヒ素(2-4)

植 物 名 (学 名)	栽 培 式	組 織	齢・生育段階・ 産地条件・採取時	As ppm (乾物)					研究者・()年
				欠 乏	低	中	高	過 剰	
レ タ ス (<i>Lactuca sativa</i>)	圃 場	地 上 部	成熟			3.87			Jadin & Astruc(1912) ^{1 9)} Von Fellenberg(1929) ^{1 9)} Mc Lean et al.(1944) ^{1 9)} Jones & Hatch(1945) ^{1 9)}
						0.43			
						0.08-0.12			
						0.12-0.32			
		根		0.47	11.00				
稲 (<i>Oryza sativa</i>)	温 室	地 上 部	成熟			0.76	12.60	Epps & Stuggis(1940) ^{1 9)} Lockard & Mc Walter(1956) ^{1 9)} Haller et al.(1968) ^{2 3)}	
		葉				0.40	6.00		
	圃 場	穀 粒				<0.1			
ト ウ モ ロ コ シ (<i>Zea mays</i>)	圃 場	穀 粒	成熟			0.36		Jadin & Astruc(1912) ^{1 9)} Von Fellenberg(1929) ^{1 9)} Williams & Whetstone(1940) ^{1 9)} Jones & Hatch(1945) ^{1 9)}	
		穀 粒				0.03			
		可 食 部				0.40			
		茎				0.72-2.77			
	ポ ッ ト (土)	全 植 物	幼植物	As 無添加 As 10ppm添加 As100ppm添加 As500ppm添加			0.80		Woolson(1972) ^{2 5)}
							1.90		
							3.40	12.00	
イ ン ゲ ン マ メ (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	圃 場	莢+種子	成熟			0.20		Jadin & Astruc(1912) ^{1 9)} Williams & Whetstone(1940) ^{1 9)} Machlis(1941) ^{1 9)}	
	培 養 液	葉				0.37	14.00		
		葉 柄				0.12	11.00		
		茎				0.48	11.10		
		種 子				0.07	4.50		
圃 場	種 子	成熟			<0.1*		Haller et al.(1968) ^{2 3)}		
エ ン ド ウ (<i>Pisum sativum</i>)	圃 場	種 子	黄			0.16		Von Fellenberg(1929) ^{1 9)}	
			緑			0.50		Jadin & Astruc(1912) ^{1 9)}	
		地 上 部	成熟			0.30			
		莢				0.52			
		種 子	成熟			tr.		Mc Lean et al.(1944) ^{1 9)}	
		莢 殻				0.12-0.37			
		蔓 根				0.23-0.50			
		種 子				0.14-0.23			
		蔓 根				0.04-0.49			
		種 子				0.29			
				1.20		Jones & Hatch(1945) ^{1 9)}			
				<0.1*		Haller et al.(1968) ^{2 3)}			
圃 場	可 食 部	成熟			0.10-0.14		Von Fellenberg(1929) ^{1 9)}		
ア ル フ ァ ル フ ァ (<i>Medicago sativa</i>)	圃 場	地 上 部	成熟			0.05		Jadin & Astruc(1912) ^{1 9)}	
							14.0		Williams & Whetstone(1940) ^{1 9)}
		根				1.96	3.38		Jones & Hatch(1945) ^{1 9)}
						0.78	3.15		
ア カ ク ロ ー バ (<i>Trifolium pratense</i>)	圃 場	地 上 部	成熟			0.37		Jadin & Astruc(1912) ^{1 9)}	
		葉					12.0		Williams & Whetstone(1940) ^{1 9)}
		地 上 部				3.65	6.26		Jones & Hatch(1945) ^{1 9)}

リマメ: *Phaseolus limensis*、ピーナッツ: *Arachis hypogaea*、*: 新鮮物当たり、

2-6表 植物体のヒ素(2-5)

植 物 名 (学名)	栽 培 式 様	組 織	齢・生育段階・ 産地条件・採取時	As ppm (乾物)					研究者・()年
				欠 乏	低	中	高	過 剰	
スーダングラス (<i>Sorghum sudanense</i>)	温室 培養液	葉	成熟			0.70	87.40		Machlis(1941) ¹⁹⁾
		節		3.50	127.00				
		節間		3.00	31.20				
		分けつ枝		2.20	52.80				
		地上部		0.30	57.00				
		根		263	1094				
ベ ッ チ (<i>Vicia spp</i>)	圃 場	地上部	成熟			0.54			Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾
		根		1.22-1.93			Jones & Hatch(1945) ¹⁹⁾		
				7.17-15.90					
サトウキビ	圃 場	地上部	成熟			0.00-2.00		Pemberton(1934) ¹⁹⁾	
アーモンド	圃 場	可食部				0.30		Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
ムラサキハシバミ	圃 場	可食部				0.11			
クインズランド ナ ッ ツ (<i>Macadamia ternifolia</i>)	圃 場	葉	健全樹			4.33-5.55		Machlis(1941) ¹⁹⁾	
		根	病害樹			0.99	7.10		
		葉		4.87	18.30				
		根		8.75	22.20				
タ バ コ (<i>Nicotiana tabacum</i>)	圃 場	葉	成熟			2.50-8.00	10.80-47.20	Small et al.(1961) ²⁶⁾	
			成熟、As 3ポント/エカ As 48ポント/エカ			0.50-2.50			
				1.30-3.90					
				7.00-7.30	10.60				
	温室 (砂)	葉	幼植物 砂耕 栽培	As 無添加			0.20		Small et al.(1962) ²⁷⁾
				As 4ppm添加			2.70		
				As 32ppm添加			9.80		
		As 64ppm添加					78.0		
		As 4ppm添加					33.0		
		As 32ppm添加					312.0		
マッシュルーム		可食部	成熟			0.45		Jadin & Astruc(1912) ¹⁹⁾	
藻 類	海 洋	----	成熟			1.00-12.00		Williams & Whetstone(1940) ¹⁹⁾	

サトウキビ: *Saccharum officinarum*、アーモンド: *Pururus amygdalus*、ムラサキハシバミ(ヘーゼルナッツ): *Corylus arellana*、マッシュルーム: *Cantharellus cibarium*
 タバコの欄3~4行目: エーカあたりのヒ素施用量