

ハクサイのゴマ症発生要因に関する研究

吉田隆徳・大友譲二・沖森 當

要 約

吉田隆徳・大友譲二・沖森 當 (1984) : ハクサイのゴマ症発生要因に関する研究。広島農試報告48 : 93~104

広島県内の冬どりハクサイ産地では、結球葉の主脈に「ゴマ症」と称するゴマ状小斑点が発生し、品質低下が問題となっている。この原因を明らかにするため、水耕と土耕栽培で検討した。

土耕栽培では窒素の多施用によりゴマ症の発生が認められ、塩化アンモニアの施用は硝酸アンモニアよりゴマ症の発生は多かった。しかし、水耕栽培では窒素濃度を濃くしてもゴマ症の発生は多くならなかった。

微量元素との関係では、ホウ素欠除・マンガン過剰および亜鉛過剰の各処理ではゴマ症の発生に影響がなかったが、銅過剰あるいは鉄欠除の長期間処理は発生が多くなった。さらに銅過剰あるいは鉄欠除に窒素の高濃度処理を組合せると、ゴマ症の発生が助長され多発した。なお銅過剰処理は養水分吸収が最も多い結球期の前期処理が、中および後期処理よりも発生が多くなった。

以上の結果、ハクサイのゴマ症は窒素の多量施用により土壌中の銅の溶解性が高まり、窒素とともに銅の吸収が増加し、主脈中の硝酸態窒素の集積と銅を含む酸化酵素が多くつくられることが関与してゴマ症が発生しているものと考えられる。

I 結 言

広島県の1982年度のハクサイ栽培面積は624haで、その内、国の指定産地となっている佐伯郡江田島町には、温暖な気候を利用して晩秋から2~3月出荷の栽培が約20haある。

江田島町におけるハクサイ栽培の歴史は古く、昭和初期から栽培が始まり、品種の変遷は包頭連から芝栗、京都2号、長交4号、長交2号、王将、千勝と変り現在にいたっている。この間1966年ころより王将に「ゴマ症」と呼ばれる連作障害が発生するようになり、栽培上の大きな問題となっている。

ゴマ症の発生は一般に外葉にはほとんどみられず、結球葉の5~6枚目から認められ、10~25枚目に最も多く、25枚目以上になると再び発生は少なくなる。症状は主脈に黒褐色~淡褐色の1~3mmの長円形の小斑点が現われ、凹陥または隆起することはなく、輪廓は鮮明のものや不鮮明のものが混在する。このゴマ斑点は初期には表皮細胞のみに限られるため、年内~1月収穫のハクサイでは斑点が小さく症状も軽いが、2~3月収穫では斑点が大きくなり、葉肉細胞が壊死する症状もみられるようにな

る。また、この症状は栽培年次により発生に多少がある。特に10~12月の気温が高く、降水量の多い年に発生が多く、反対に気温が低く、降水量の少ない年は発生が少ないのが特長である。

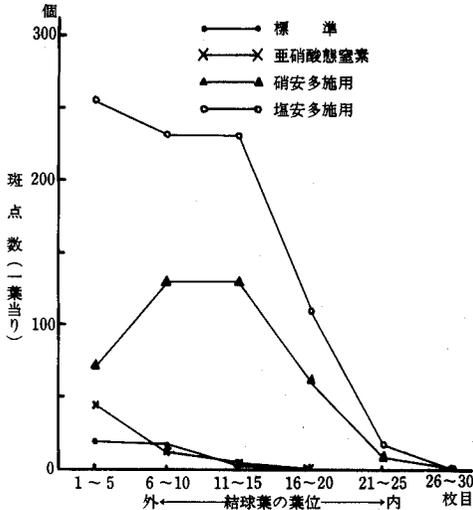
本症状と類似した症状は、1950~51年ころ、静岡県浜名郡庄内地方のハクサイに認められ、山下ら¹⁾と河合ら⁵⁾によると、銅水銀剤とDDT茎葉散布により発生したとしている。松本^{6,7,8,9,10)}は富山県に於て、また谷本ら¹⁴⁾は広島県に於いてともに窒素の施用量について検討を加え、窒素の施用量が多い場合、その代謝異常により発生するとしている。

本研究は窒素の施用量の多少と銅などの微量元素の欠除または過剰がゴマ症の発生に及ぼす影響について、水耕栽培あるいは土耕栽培により検討したものであり、2~3の知見が得られたので報告する。

II 窒素の多少及び窒素形態とゴマ症の発生 (試験 I)

1. 試験方法

1979年野菜試験場久留米支場において2,000分の1 a



第1図 窒素の多少と窒素形態がゴマ症発生におよぼす影響 (1979年)

のワグナーポットを用い、標準、亜硝酸態窒素、硝酸多施用及び塩安多施用の試験区を設定して試験した。土壤消毒した畑の心土(壤土)7ℓとモミガラ堆肥3ℓに、窒素、りん酸及び加里の各3kg/aを基肥としてCDU化成S555で、炭酸苦土石灰20kg/aとともに加え、充分混合したものをポットに詰め、1処理5連制として栽培した。品種は千勝を供試し、9月7日に直播し本葉4枚のとき1株とした。

追肥の第1回目は9月19日に各処理とも窒素は2.1kg/aを硝酸アンモニアで、加里は2.1kg/aを硝酸加里で施用した。追肥の第2回目は窒素3kg/aを10月22日に、亜硝酸態窒素区は亜硝酸ナトリウムで、硝酸多施用区は硝酸アンモニアで、塩安多施用区では塩化アンモニアで施用し、第3回目は窒素3.3kg/aを10月26日に、硝酸多施用区と塩安多施用区は第2回目と同一の肥料で施用した。

ゴマ症の発生は生育調査終了後、直ちに各1葉ごとに調査し、結球葉の外側から5葉ごとの平均値で表示した。植物体分析は外葉と結球葉に分け、結球葉は葉位ごとに3段階に分け、葉身と主脈は一緒にして風乾後、分析資料とした。T-Nはケルダール法、Pはバナドモリブデン酸アンモニウム法、Kは炎光光度法、Ca、Mg、Fe、Mu及びCuは原子吸光光度法により定量した。

2. 試験結果

発芽及び初期生育は順調で、播種後40日で結球始めとなり、処理開始後37日目に収穫して調査した。

生育を全重でみると、硝酸多施用区が最も重く、次い

で塩安多施用区で、共に2.3kgを超え、亜硝酸態窒素施用区と標準区は1.8kg程度で差がなかった。調査の都合で早期収穫となったため、全般に結球重は軽く、最も生育の優れた硝酸多施用区でも1株1.54kgで塩安多施用区、亜硝酸態窒素区、標準区の順に軽くなり、標準区は1.00kgと小さかった。

結球葉のゴマ症は第1図に示したように、塩安多施用区で極めて多く、結球葉の1~20枚目の葉位に多発した。次いで硝酸多施用区での1~20枚目の葉位に多かった。亜硝酸態窒素区にもゴマ斑点は認められたが、標準区と大きな差はなく、1~10枚目にわずかに発生した程度で、11枚目以上ではほとんど発生しなかった。

葉分析結果は第1表に示したように、全窒素(T-N)は硝酸多施用区の外葉と結球葉の1~10枚がもっとも含有率が高いが、結球葉11~20枚と21枚以上では塩安多施用区が高くなっている。ゴマ症の発生との関係では、T-N含有率の高い葉位で、必ずしもゴマ症の発生は多くなっていないが、ゴマ症の発生が極めて少ない標準区と亜硝酸態窒素区は、T-N含有率が低くなっている。

P₂O₅、K₂O、CaO及びMgOの含有率は、T-Nと同様に生育の優れた硝酸多施用区と塩安多施用区で、結球葉21枚以上のP₂O₅以外は標準区や亜硝酸態窒素区より高い傾向がみられた。微量元素のMn及びCuの含有率は、硝酸多施用区と塩安多施用区で標準区や亜硝酸態窒素区より、結球葉の含有率が高くなっている。Feについては亜硝酸態窒素区、硝酸多施用区及び塩安多施用区ともに標準区よりも含有率が高くなっているが、ゴマ症発生とFe含有率については一定の傾向は認められなかった。

III 窒素を含む化学物質の葉面散布とゴマ症の発生

1. 試験方法

供試品種：千勝、播種：8月25日、定植：9月5日、施肥量：10a当り窒素65kg、りん酸17kg、加里27kgとした。試験区は無処理区、塩化アンモニア区、パラニトロフェノール区、2,4ジニトロフェノール区及びピクリン酸区の5区を設け、塩化アンモニアは4mM、その他は1mMの濃度液を1株当り100ml葉面散布した。処理時期は10月21日と11月12日の2回とした。

2. 試験結果

各処理区とも生育は順調で、結球重は各処理区とも2

第1表 窒素の多少と窒素形態が養分含有率におよぼす影響 (1979年)

試験区	葉位	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Mn	Fe	Cu
標準	外葉	1.86%	1.65%	15.2%	2.42%	0.23%	26ppm	197ppm	6.3ppm
	結球葉1~10	2.38	2.73	11.3	0.96	0.23	15	65	2.4
	" 11~20	2.81	2.96	9.0	0.44	0.27	20	62	2.9
	" 21<	2.00	2.50	8.8	0.52	0.21	12	60	2.9
亜硝酸	外葉	1.72	1.67	17.8	2.63	0.23	27	249	8.3
	結球葉1~10	2.73	2.96	11.8	0.99	0.25	20	84	4.4
	" 11~20	2.24	2.79	9.4	0.62	0.24	17	94	3.4
	" 21<	2.59	3.44	9.0	0.47	0.28	18	78	1.5
硝酸	外葉	4.51	2.23	20.4	3.37	0.31	36	287	7.3
	結球葉1~10	5.49	3.65	17.1	1.97	0.40	29	104	5.3
	" 11~20	4.42	3.30	11.8	1.24	0.35	27	73	6.3
	" 21<	3.58	3.37	9.9	0.70	0.33	26	80	8.3
塩	外葉	4.01	2.50	22.1	2.76	0.28	71	200	6.8
	結球葉1~10	5.08	3.62	17.7	1.70	0.35	39	95	6.8
	" 11~20	5.08	3.89	9.5	1.54	0.37	45	92	8.8
	" 21<	3.77	3.42	9.9	0.95	0.31	34	82	4.9

kg以上となった。2, 4ジニトロフェノール区ではやや生育阻害がみられ、平均球重2.6kgと軽くなったが、その他の処理区は無処理区と大差のない3.4~3.6kgの球重となった。

ゴマ症の発生は無処理区では少なく、結球葉1~30枚の葉位は1葉当り5~10個のゴマ斑点がみられ、株による差は少なかった。その他の処理区は各区とも5株中1~2株はゴマ斑点が多く発生していたが、その他の3~4株は無処理と同程度か、やや少ない発生で有意な差はなかった。

IV 微量元素の多少とゴマ症の発生

土耕栽培ではゴマ症の発生と微量元素との関係がみられたので、ホウ素と鉄の欠除及びびマンガンと銅の過剰が、ゴマ症の発生に及ぼす影響を水耕栽培で検討した。

1. 試験方法

試験の経過と処理培養液の組成は次のとおりである。

1) 1978年秋作 (ガラス室)

品種：はまれ2号。播種：9月21日。素焼鉢燐育苗。

定植：10月11日。処理開始：11月13日(結球始め)。生育及びゴマ症調査：12月13日, 1月30日。発泡スチロールベット(液量120ℓ)で栽培。培養液の更新：7~10日ごと。1ベット10株植。試験区：標準, -Fe-B, -Fe, -B, +Mn。培養液の組成：各区に共通して, K=4, Ca=6, Mg=2, NO₃-N=10, NH₄-N=1, P₂O₅=3 (以上各me/ℓ), Zn=0.05, Cu=0.02, Mo=0.01, Fe=-Fe-B区と-Fe区は0その他は3.0, B=-Fe-B区と-B区は0その他は0.5, Mn=+Mn区は50.0, 他の区は0.5 (以上各ppm)。

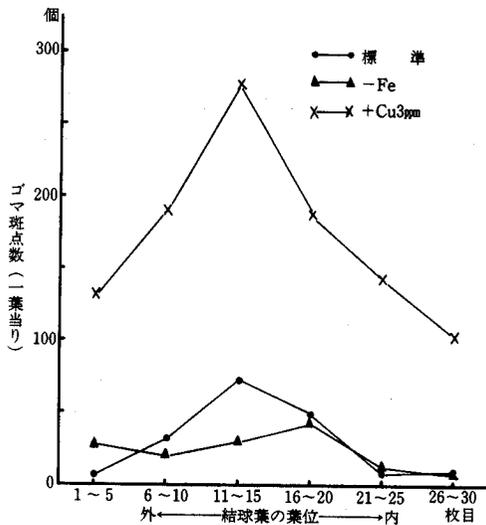
2) 1979年秋作 (ビニールハウス)

品種：千勝。播種：9月12日。ビニールポット燐炭育苗。定植：9月25日。処理開始：10月23日(結球始め)。生育調査とゴマ症調査：11月27日, 分析用資料採取：11月28日, コンテナベット(液量30ℓ)で栽培, 1ベット2株植3区制。試験区：標準, -Fe, +Cu 3。培養液の組成：各区に共通して, K=8, Ca=8, Mg=4, NO₃-N=16, NH₄-N=1.33, P₂O₅=4 (以上各me/ℓ), B=0.5, Mn=0.5, Zn=0.05, Mo=0.01, Fe=-Fe区は0その他は3.0, Cu=+Cu 3区は3.0, その他は0.02 (以上各ppm)。

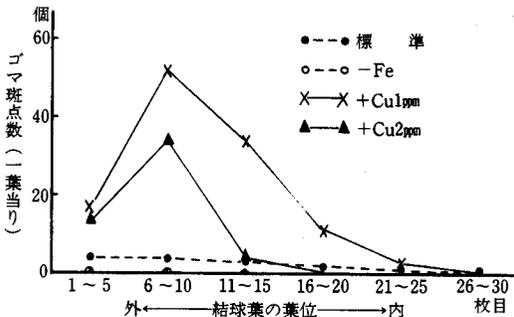
第2表 微量元素の多少とゴマ症発生 (1978年)

試験区	結球葉の葉位 (1葉当り斑点数)					
	1~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30
標準	0.3	0.1	0.4	8.0	3.4	0.8
-Fe-B	(0.1)	(3.3)	(6.7)	(8.3)	(14.7)	(22.4)
-Fe	0.3	4.2	11.6	8.9	14.4	8.4
-B	(0.6)	(1.6)	(1.6)	(18.4)	(18.8)	(11.0)
+Mn	2.2	2.9	1.2	1.1	0.6	0.1

注) ()内はサビ状の極く小さな褐色斑点



第2図 鉄欠除と銅過剰がゴマ症発生におよぼす影響 (1979年)



第3図 鉄欠除と銅過剰がゴマ症発生におよぼす影響 (1980年)

3) 1980年春作 (ガラス室)

品種;無双, 播種; 2月8日, 素焼鉢育苗, 定植; 3月17日, 処理開始; 4月3日, 但し - Fe区は3月17日, 生育調査とゴマ症調査; 5月15日。コンテナベット (液量30ℓ)で栽培, 1ベット2株植3区制。試験区;標準, +Cu 1, +Cu 2, -Fe。培養液組成;各区に共通して, K=8, Ca=8, Mg=4, NO₃-N=16, NH₄-N=1.33, P₂O₅=4 (以上各me/ℓ)。B=0.5, Mn=0.5, Zn=0.05, Mo=0.01, Fe=-Fe区は0, その他は3.0, Cu=+Cu 1区は1.0, +Cu 2区は2.0, 他の区は0.02 (以上各ppm)。

現地では生育順調で, 結球重が重い株にゴマ症が多発するので, 各試験とも結球始めまでは標準区の培養液組成で均一栽培を行い, その後処理を開始した。

植物体分析は1979年のみ行い, 外葉と結球葉に分け, 結球葉は葉位ごとに3段階とし, 葉身と主脈は一緒にして分析した。分析方法は試験Iと同じ方法で行った。

2. 試験結果

1) ホウ素欠除とゴマ症

生育は処理開始1ヶ月後からやや悪くなり, 結球重は標準区より10~13%劣った。さらに1月末の収穫時には標準区よりも結球重は33~46%軽くなった。しかも結球葉の14~15枚目から心葉にかけ, 葉の縁ぐされ症, 軟腐病, ホウ素欠乏症が併発した。

ゴマ斑点はほとんどみられず, サビ状の極く小さな褐色斑点が発生した。

2) 鉄欠除とゴマ症

結球始めからの - Fe 区の生育抑制は比較的少なく, - B 区, + Mn 区, + Cu 3 区に比較して全重, 結球重とも重くなっている。しかし, 結球開始前から処理した1979年の調査では, 結球重はやや軽くなっており, 若干の生育阻害があったことが認められた。

1978年のゴマ症の発生は, 低温期に向う作型で処理開始から77日後に調査した結果, 鉄欠除によりゴマ症が発生する傾向がみられたが, 処理開始後35日目に調査した1979年は, 標準区よりも多発する傾向はみられなかった。また, 1980年は春播栽培で処理開始を結球開始以前に早めたため, 生育が抑制され, ゴマ症の発生はみられなかった。

鉄欠除にホウ素欠除を組合せた場合は, - B 区より結球重はやや重くなったが, 全重, 結球重ともに標準区より劣った。結球葉の11~12枚目のころからホウ素欠乏症が発生し, 17~24枚目からは縁ぐされ症が発生した。ゴマ斑点は第2表に示すように - B 区と同様にサビ状の

第3表 微量元素の多少が葉位別養分含有率におよぼす影響 (1979年)

試験区	葉位	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Mn	Fe	Cu
標準	外葉	5.13%	2.52%	14.9%	4.83%	1.22%	247ppm	248ppm	10.1ppm
	結球葉 1~10	5.27	3.82	16.4	3.52	0.77	140	97	11.5
	" 11~20	5.00	4.03	15.0	1.83	0.54	87	65	1.8
	" 21<	3.33	3.02	9.6	0.83	0.35	41	60	2.4
-Fe	外葉	5.05	2.91	16.1	2.89	1.21	296	138	4.7
	結球葉 1~10	5.32	4.11	17.1	2.81	0.66	63	94	5.2
	" 11~20	4.97	4.24	16.2	1.87	0.55	84	75	3.8
	" 21<	3.60	3.19	10.1	0.83	0.38	47	68	3.3
+Cu3	外葉	4.59	2.47	16.9	4.67	1.36	302	158	22.5
	結球葉 1~10	4.86	3.28	14.1	2.30	0.64	115	66	14.2
	" 11~20	4.92	3.40	14.9	1.63	0.60	81	75	34.3
	" 21<	4.34	3.57	12.8	1.08	0.48	66	74	12.6

極く小さな褐色斑点が発生した。

3) マンガン過剰とゴマ症

+ Mn 区は標準区の Mn 処理濃度の100倍の50ppmとしたため、処理開始12日目ころから外葉の葉脈間にネクロシス症状がみられるようになり、症状の激しいものは外葉の枯死がみられた。さらに結球葉の21~24枚目から心葉にかけて緑ぐされ症が発生した。このため、生育不良となり-B区と同程度の結球重となった。

ゴマ症の発生は第2表のように極くわずかの発生で、標準区よりも少発生であった。

4) 銅過剰とゴマ症

1979年秋作の銅過剰処理区のカ+ Cu 3区は標準区の150倍の3ppmとしたため、処理開始後、日中は葉の萎凋が起り、夜間には萎凋は回復し、この状態は7日間くらい繰返しがみられ、根が障害を受けたことが認められた。したがって生育障害が起り、全重、結球重とも標準区の69%、67%と軽くなった。

1980年春作はゴマ症の発生が少ない無双を供試した。+ Cu 1区、+ Cu 2区とも処理開始後、日中の萎凋はみられたが3~4日後には回復した。処理後42日目の生育及び収量調査では、+ Cu 1区には生育障害がなく、全重、結球重とも標準区との差はなかった。しかし、+ Cu 2区は標準区に比較して全重で19%、結球重で24%軽くなった。

1979年の+ Cu 3区でのゴマ症の発生は処理開始後6日目から結球葉の5枚目にゴマ斑点が認められるように

なり、処理開始35日目では第2図のように極めて多くのゴマ斑点が発生した。1980年の+ Cu 1区と+ Cu 2区では処理開始後20日前後でゴマ斑点が認められるようになり、処理後42日目には第3図のように+ Cu 1区では結球葉の6~15枚目にゴマ斑点が多く発生した。+ Cu 2区は+ Cu 1区よりも発生は少ないが、標準区より多発した。また、+ Cu 2区は結球葉の4~5枚目から、+ Cu 1区と標準区では8~9枚目から緑ぐされ症が発生した。

ゴマ症が多発した1979年の外葉と結球葉の葉位別の養分含有率を第3表に示した。+ Cu 3区のカ-T-N含有率は外葉と結球葉1~20枚までは標準区に比較していずれも低く、結球葉21枚以上は反対に標準区より含有率が高くなった。P₂O₅とCaOの含有率は外葉と結球葉の1~20枚まで、K₂Oは結球葉の1~20枚まで、MgOは結球葉の1~10枚ではいずれも+ Cu 3区の含有率が低く、その他の葉位では+ Cu 3区が高くなっている。Mnは結球葉ではT-NやP₂O₅などと同様の傾向であった。Feは結球葉の1~10枚では標準区の含有率が高くなり、Cuは外葉、結球葉ともに+ Cu 3区の含有率が標準区より高くなっている。

V 窒素の多少及び微量元素の多少とゴマ症の発生

水耕栽培では銅過剰処理によりゴマ症が多発したので、銅過剰及び銅と拮抗作用のある鉄欠除と窒素の多少の組

第4表 窒素の多少と鉄欠除が葉位別養分含有率におよぼす影響 (1977年)

試験区	葉位	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Mn	Fe	Cu
少N標準	外葉	4.80%	2.66%	16.4%	9.42%	1.24%	222ppm	229ppm	4.2ppm
	結球葉1~30	4.34	3.94	13.1	2.31	0.46	69	80	3.0
	" 31<	3.86	3.48	11.1	1.13	0.40	53	110	3.7
少N-Fe	外葉	4.99	2.80	16.6	8.83	1.31	404	197	7.7
	結球葉1~30	3.85	3.80	12.4	1.68	0.45	101	67	6.4
	" 31<	3.66	3.85	11.2	0.84	0.40	57	98	9.6
多N	外葉	5.15	3.76	14.3	8.23	0.58	257	306	5.2
	結球葉1~30	5.07	4.49	11.6	2.20	0.35	83	167	2.9
	" 31<	4.35	3.90	10.1	1.05	0.33	49	176	3.4
多N-Fe	外葉	5.08	3.21	13.1	8.63	0.71	276	257	6.5
	結球葉1~30	4.88	4.45	12.4	2.03	0.40	90	89	6.5
	" 31<	4.18	3.85	9.7	0.94	0.35	48	86	11.2

合せがゴマ症発生に及ぼす影響と、現地圃場に多く含有している亜鉛過剰について検討した。

1. 試験方法

試験の経過と処理培養液の組成は次のとおりである。

1) 1977年秋作 (ガラス室)

品種：秀峰，播種：9月22日，素焼鉢育苗，定植：10月13日，処理開始：11月11日(結球始め)，生育調査とゴマ症調査：1月12日，分析用資料採取：1月13日。発泡スチロールベット(液量60ℓ)で栽培，培養液は7~10日ごと更新，1ベット5株植1区制。試験区：少N標準，少N-Fe，多N，多N-Fe。培養液の組成：各区共通してK=4，Mg=2，P₂O₅=3，Ca=少N標準と少N-Fe区は6，他の区は12，NO₃-N=少N標準と少N-Fe区は10，他の区は16，NH₄-N=少N標準と少N-Fe区は1，他の区は5(以上各me/ℓ)。B=0.5，Mn=0.5，Zn=0.05，Cu=0.02，Mo=0.01，Fe=少N-Feと多N-Fe区は0その他は3.0(以上各ppm)

2) 1981年春作 (ガラス室)

品種：無双，播種：2月7日，素焼鉢育苗，定植：3月9日，処理開始：4月7日(結球始め)，生育とゴマ症調査：5月14日。分析資料採取5月15日，コンテナベット(液量30ℓ)で栽培，1ベット2株植3区制。試験区：少N標準，少N+多Cu，少N+多(Cu+Zn)，

多N，多N+多Cu，多N+多Zn，多N+多(Cu+Zn)。培養液組成，Mg=4，NH₄-N=1.33，P₂O₅=4，KとCa=少N標準と少N+多Cu及び少N+多(Cu+Zn)区は8，他の区は12，NO₃-N=少N標準と少N+多Cu及び少N+多(Cu+Zn)区は16，他の区は24，(以上各me/ℓ)，Fe=3.0，B=0.5，Mn=0.5，Mo=0.01，Zn=少N+多(Cu+Zn)と多N+多Zn及び多N+多(Cu+Zn)区は10.0，他の区は0.05，Cu=少N+多Cuと少N+多(Cu+Zn)と多N+多Cu及び多N+多(Cu+Zn)の各区は1.0，他の区は0.02(以上各ppm)。

両年とも処理開始までは少N標準区の培養液組成で均一栽培とした。生育及びゴマ症の調査は収穫時に行い，植物体分析は，1977年は外葉と結球葉1~30枚と31枚以上に区分し，1981年はゴマ症の発生が最も多い結球葉の6~10枚目の主脈だけを切り取り，乾燥して分析資料とした。分析法は試験1と同様としたが，1981年の銅及び亜鉛は湿式分解後，原子吸光度法により定量した。

2. 試験結果

1) 窒素の多少及び鉄欠除とゴマ症

生育の状況は外葉は少Nの各区より多Nの各区がよく，最大葉の幅，長さとも多N区が最も大きくなった。全重は少N標準区が最も重く3.93kg，次いで多N区3.81kg，多N-Fe区3.27kg，少N-Fe区3.04kgの順

に軽くなり、鉄欠除により生育阻害があることが認められた。結球重も全重と同様の傾向で、処理開始後、前期は多N区の生育がよかったが、後期には養分吸収が少なく、培養液のEC値は上昇気味となり、収穫期の結球重は少N標準区が最も重かった。

ゴマ症は各処理とも外葉にはほとんど発生がなく、多N-Fe区でわずかにみられる程度であった。結球葉における発生状況は第4図のとおりで、少N標準区では各葉1~2個のゴマ斑点がみられるのみで、葉位による差はなかった。多N区ではやや増加したが1~15枚目までの葉位で4~8個にすぎなかった。しかし鉄欠除区では目立って増加し、少N-Fe区は11~25枚の葉位では38~87個のゴマ斑点がみられ、さらに多N-Fe区の11~25枚の葉位では98~146個と極めて多いゴマ斑点の発生があった。しかも同一区内でも結球重の重い株ほど、ゴマ斑点の発生が多い傾向であった。

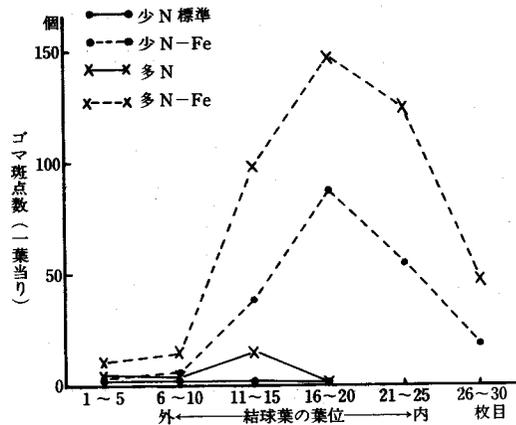
葉分析結果は第4表のとおりである。ゴマ症発生の多い結球葉の1~30枚の葉位についてみると、少N標準区と少N-Fe区の比較では多量要素のT-N, P₂O₅, K₂O, CaO及びMgOは鉄欠除によりいずれも含有率は低くなる傾向がみられる。微量元素は鉄欠除により当然のことながらFeの含有率は低下したが、MnとCuの含有率は高くなっており、特にCuの含有率は約2.1倍と高くなっている。次に多N区と多N-Fe区の比較ではK₂OとMgOは鉄欠除により含有率は高くなっているが、その他の多量要素は少窒素の場合と同様の傾向であった。Feの含有率は鉄欠除により低下しているが、Mnには大きな差がなく、Cuの含有率は約2.2倍となっている。

ゴマ症の発生が最も多かった多N-Fe区と、次いで発生の多かった少N-Fe区の比較では、Cu含有率は差がなく、T-Nは多N-Fe区の含有率が約1%高くなっている。

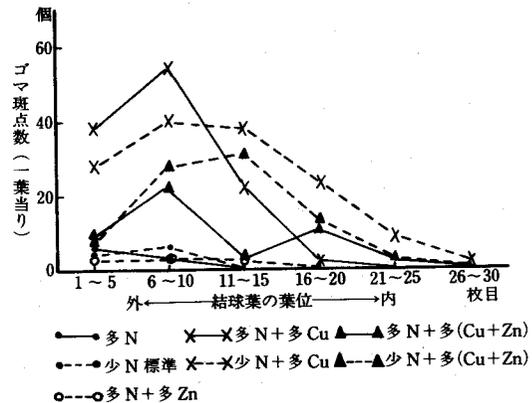
2) 窒素の多少及び銅、亜鉛過剰とゴマ症

生育は各区とも順調であったが、多窒素処理により、やや生育阻害がみられた。全重は少N+多(Cu+Zn)区3.66kgが最も重く、次いで少N標準区3.53kg, 多N+多Zn区3.21kg, 少N+多Cu区3.16kg, 多N区2.94kg, 多N+多Cu区2.93kg, 多N+多(Cu+Zn)区2.89kgの順に軽くなった。結球重は各区とも2kg以上でゴマ症が発生する大きさとなり、最も重いのは全重と同様に少N+多(Cu+Zn)区で2.78kg, もっとも軽いのは多N+多Cu区2.17kgであった。その他の各区は両者の中間であった。

ゴマ症の発生は第5図のとおりで、少N標準区, 多N区, 多N+多Zn区の各区は極く少ない発生であった。



第4図 窒素の多少および鉄欠除とゴマ症発生(1977年)



第5図 窒素の多少および銅、亜鉛の過剰とゴマ症発生(1981年)

第5表 窒素の多少と銅、亜鉛の過剰が主脈の養分含有率におよぼす影響(1981年)

試験区	T-N	Cu	Zn
少N標準	4.4%	2.1ppm	36.6ppm
少N+多Cu	4.7	9.0	34.8
少N+多(Cu+Zn)	4.8	8.1	156.0
多N	4.7	1.6	31.9
多N+多Cu	5.2	8.5	28.0
多N+多Zn	4.8	1.8	76.4
多N+多(Cu+Zn)	4.8	7.0	108.4

注) 結球葉6~10枚目の主脈の分析値

一株当りのゴマ斑点発生は少N+多Cu区が最も多く、次いで多N+多Cu区の発生が多かった。少N+多Cu

区あるいは多N + 多Cu区にそれぞれZn過剰処理を加えるとゴマ症の発生はかえって少なくなる傾向が認められた。

葉分析結果を第5表に示した。T-Nは多N + 多Cu区の含有率がやや高く、少N標準区がやや低い以外は処理間の差はなかった。Cu含有率は多Cuの各区はいずれも高く、Zn過剰処理を加えるとCu含有率が低下した。Zn含有率は少Nの各区で高く、多Nの各区で低くなる傾向がみられ、特にZn過剰の場合のCu含有率の減少率が大きかった。

VI 銅過剰処理時期とゴマ症の発生

ゴマ症は結球始めからの銅過剰処理によって多発することを認めたので、結球期を前・中及び後期の3期に分け、水耕栽培で銅過剰処理とゴマ症の発生について検討した。さらに収穫後のハクサイに窒素液・銅液を吸収させた場合のゴマ症の発生についても検討した。

1. 試験方法

銅過剰処理時期の試験経過と方法は次のとおりである。

1) 1982年春作 (ガラス室)

品種：無双、播種：2月24日、素焼鉢碟育苗、定植：4月1日、生育とゴマ症調査：5月22～23日、コンテナベット (液量30ℓ) で栽培。1ベット2株植3区制。試験区：無処理、前期処理、中期処理、後期処理、前中期処理、前後期処理、中後期処理、全期間処理の8処理。培養液組成：各区共通して、K = 6, Ca = 6, Mg = 3, NO₃-N = 12, NH₄-N = 1, P₂O₅ = 3, (以上各me/ℓ)。Fe = 3, Mn = 0.5, B = 0.5, Zn = 0.05, Mo = 0.01, Cu = 無処理区0.02, Cu過剰区1.0 (以上各ppm)。

収穫後の結球に対する窒素、銅液の処理試験は2000分の1aワグナーポットで栽培したハクサイを供試した。用土はマサ土10kgと甘草粕1kgに、窒素、りん酸、加里を各3.6kg/aと苦土石灰20kg/aを加え充分混合してポットに詰めた。追肥は窒素8.4kg/aを7回に、加里は2.1kg/aを3回に分施した。収穫は12月22日に行い、結球葉の1～40枚を除去してゴマ斑点を調査し、斑点のないハクサイを供試した。

直径15cmの大型シャーレにハクサイの茎の切口を下にして立て、純水のみを入れた無処理区、N20me/ℓ液区、Cu 3ppm液区、N20me + Cu 3ppm区の4区を設け、反射光の入る実験室内で26日間、処理液を吸収させてゴマ症の発生を調査した。

2. 試験結果

結球期を3期に分け、銅過剰処理した場合、無処理区は生育阻害はなく順調な生育で、結球重は1.90kgと最も重くなった。前期処理区は無処理区について結球重が重くなったが、全期間処理区は生育阻害が大きく1.00kgと最も軽くなった。その他の処理区は前2者の中間の結球重となった。

ゴマ症の発生状況は第6図に示した。発生の少ない品種を供試したにもかかわらず、結球葉1～10枚の葉位では前中期処理が、11～20枚の葉位では前期処理区のゴマ斑点の発生が多かった。無処理区は発生はなく、次いで後期処理区の発生が少なかった。一球当りのゴマ斑点は前期処理区が最も多く、次いで前中期処理で、その他の処理区はゴマ斑点の発生のなかった無処理区との中間であった。

このように結球期の内でも結球開始期は根の活力が高く、養水分吸収が最も旺盛なため、前期処理区は銅の吸収が多くなり、ゴマ症の発生が多くなったものと思われる。中期あるいは後期からの処理開始は根の活力が漸次低下してくるため、その時期の銅過剰処理は根の生育阻害も大きくなり、養水分吸収が低下して銅の吸収量も少なく、ゴマ症の発生が少なくなったものと思われる。

次に収穫後の処理によるゴマ斑点の発生は第7図のとおりであった。無処理区にはゴマ斑点の発生はほとんどみられず、N区は結球葉41～50枚目にわずかに発生し、51枚目以降の葉位には発生していない。Cu区には斑点は小さいが多くのゴマ斑点が発生し、特に56～65枚目に多く、一葉当り42～43個の発生であった。N + Cu区はCu区より発生は少ないが、供試球の全葉にわたって多発した。

なおCu区は結球葉の外側の葉位の葉柄部にCu液の多量吸収による組織の褐変がみられた。

収穫後の結球でもCu液の吸収によってゴマ症が発生し、水耕栽培と同様の結果が得られたが、これは根を經由しないため、吸水とともに銅の吸水が容易となったものと思われる。

本試験は結球葉の40枚までを除去して供試したので、葉緑素はほとんどなかったが、反射光が入射していたため、26日後には葉緑素の生成がみられた。ゴマ斑点は葉緑素の多い葉位では発生は少なく、51～75枚目の葉位に多く発生した。なお、多肥条件でポット栽培したハクサイを供試したことも、Cu液吸収によるゴマ症発生を助長したものと考えられる。

VII 考 察

江田島町の冬採りハクサイに発生するゴマ症は、1966年ころから認められるようになった。現地実態調査では次のことが明らかになっている。

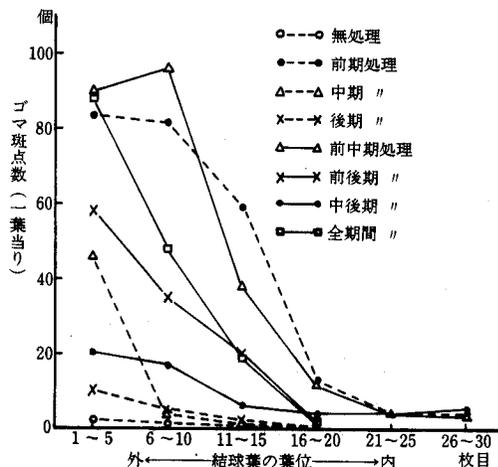
① 土壌は花崗岩の風化した砂壤土で、塩基置換容量は10me以下と小さい。② 有機物の施用はほとんどなく、金肥主体で窒素60~90kg/10aの多肥栽培となっている。③ 天地返しや深耕ではゴマ症の発生は少なくなる。④ 60cm以上の客土によって発生は少なくなる。⑤ 総合微量元素の施用では発生に余り影響がない。⑥ 連作によって発生は多くなる。⑦ 栽培年次により結球重が重い年ほど発生が多い。⑧ 土壌消毒ではゴマ症は減少しない。⑨ ウイルス病の検定ではマイナスの結果であった。以上のことから、ゴマ症の発生は土壌に起因する障害と考えられる。

土耕栽培による本試験では窒素を多量施用することによって、ゴマ症が発生することが久留米支場の壤土を使用したポット試験で再現でき、松本⁷⁾や谷本¹⁴⁾の成績とよく一致した。しかし、水耕栽培では培養液の窒素濃度を高くしただけでは、ゴマ症の発生は起こらず、また、窒素の中間代謝産物である $\text{NO}_2\text{-N}$ や $\text{NH}_4\text{-N}$ を含む化学物質の葉面散布も、ゴマ症の発生に有意な差がなかったことから、窒素成分の多少は直接にはゴマ症発生には関係なく、 $\text{NO}_2\text{-N}$ や $\text{NH}_4\text{-N}$ の集積などによってもゴマ症の発生は起こらないと思われた。

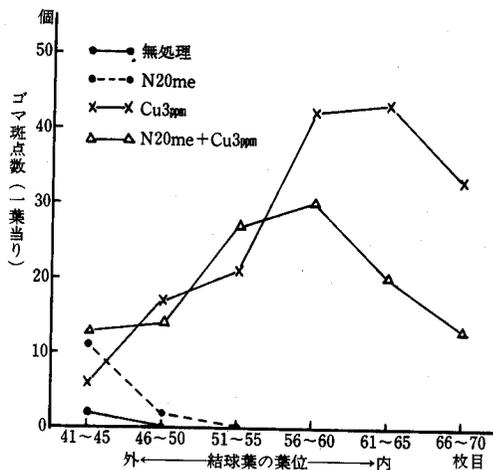
微量元素の欠除または過剰処理とゴマ症の発生との関係については、次のように考察される。

加藤⁹⁾はホウ素欠除とゴマ症の発生程度との間には、ある程度の相関があるとしているが、本試験ではサビ状の極く小さな褐色斑点は認められたものの、判然としたゴマ斑点の発生はなかった。また、結球始めからのホウ素欠除によって生育阻害が大きく、結球重は標準区の55%にすぎなかった。したがって、ホウ素欠除はゴマ症発生の主要因ではないものと思われる。

マンガン過剰処理では50ppmで結球重が約半減する生育阻害がみられ、外葉の葉脈間がネクロシスを起こし、五味²⁾も50ppmで一般的には過剰症がみられるとする結果と一致したが、結球葉にはゴマ斑点の発生はほとんどみられなかった。また、銅過剰処理のようにゴマ斑点が多発した処理区のMn含有率は標準区よりもむしろ低かった。さらに谷本¹⁴⁾は現地圃場の有効態Mn含有量を調査し、ゴマ症多発圃場の風乾土100g当り0.69mgに対し、少発生圃場は0.56mgであり、両者に大きな差はな



第6図 銅過剰処理時期とゴマ症発生 (1982年)



第7図 収穫後の処理とゴマ症発生 (1980年)

ったとしている。このことからマンガン過剰はゴマ症の発生要因となっていると思われる。

Zn過剰については少N標準区の200倍の10ppmとしたが、生育阻害は全くなく、多窒素や銅過剰による生育阻害をかえて軽減する働きがあり、Zn過剰の組合せによって結球重は重くなる傾向がみられる。また、亜鉛過剰はCuの吸収を抑制しており、ゴマ症の発生に抑制的に働く作用が認められた。

銅過剰処理の場合、処理濃度2~3ppmでは根の生育阻害が起こり結球重は軽くなったが、1ppmの処理濃度では生育阻害は少なく、生育初期から収穫期まで0.05ppmとした標準区に比べ結球重では差がなかった。ゴマ症の発生は1~3ppmの範囲ではいずれも明らかに増加がみられ、

ゴマ症発生の主要因となっているものと思われる。

谷本ら¹⁰⁾によると、現地のゴマ症発生圃場の土壌中のCu含有量は0~10cmに17.4ppm、10~20cmに19.0ppm、20~30cmは20.3ppmと多いのに対し、ゴマ症の少発生圃場は0~20cmでは1.2ppm、20~30cmでは1.1ppmと低かったとしている。土壌中にはCuのほかにZn含有量も多くなっているが、この原因は都市ゴミの施用、長年にわたる薬剤散布、鶏糞の多量施用が関与しているのではないかとしている。

鉄欠除ではホウ素欠除やマンガン過剰のような生育障害はなく、短期間の処理では生育に影響がでにくく、ゴマ症の発生もみられない。しかし、秋作で低温期に向う作型では、長期間の鉄欠除処理によってゴマ症の発生がみられた。

この原因としては葉分析結果でも明らかのように、鉄欠除により鉄の吸収は減少し、反対に鉄と拮抗作用のある銅の吸収が多くなり、銅の含有率が高くなっている。このようにゴマ症発生は鉄欠除による鉄の吸収量の減少により、銅の吸収量の増加が影響していることが認められた。

以上のように水耕栽培によって、銅がゴマ症の発生に最も大きな影響を及ぼす微量元素と考えられた。

次に土耕栽培において窒素の多量施用によってゴマ症が多発した原因についても銅の吸収量によって説明することができる。すなわち1979年の土耕栽培では鶏糞混合モミガラ堆肥をポット当り3ℓ施用したので、塩化アンモニアや硝酸アンモニアの多量施用は、土壌のpHを低下させることから、鶏糞中の銅と土壌中の銅の溶解性が増大し、銅の吸収が多くなったものと推定される。また、肥料形態では、塩化アンモニアの多量施用は硝酸アンモニアの施用よりゴマ症の発生が多かったが、これは塩化アンモニアが硝酸アンモニアより、土壌pHの低下が大きいことが原因したものと思われる。一方、水耕栽培においては培養液の窒素濃度の高い方が葉中のT-N含有率は高くなり、培養液のpHは窒素濃度が高い場合は低いものよりも低下したが、培養液中の銅の絶対量が少ないために、銅の吸収増加が起こらず、ゴマ症の発生も見られなかったと推察される。

ゴマ症発生の多い江田島町の土壌には、平均値で25.6ppmの銅の集積があるが¹¹⁾、この濃度では斉藤¹²⁾の鉱毒地調査にみられるような銅過剰害が出るほどの集積ではない。実際の栽培では生育障害はなく、生育期に適当な降水があり、気温が高い年は順調な生育を示し、一球重は2.5kg前後のものを生産している。しかし銅の集積量は明らかに高く、このことがゴマ症発生の最も大きな原因に

なっているものと考えられる。

ハクサイの養分吸収は佐々木¹³⁾が明らかにしているように、播種後30~70日間が最も旺盛で、この期間に肥料切れさせないことが必要である。このため施肥慣行としては結球始め前後に窒素と加里の追肥を行う。その際、現地では多量の窒素を施用している。結球期の気温が高く、適度の降水量のある年は、施用窒素の硝酸化が急速に進み、NO₃-Nの生成で一時的に土壌pHが低下し、そのため、土壌中の銅の溶解性を高めているものと考えられる。特に有機物の施用は少なく塩基置換容量の小さい土壌では、銅の固定力が弱いため、ハクサイの銅吸収が多くなっているものと推察される。また気温が高く、適度の降水量があれば生育はよくなり、根群域も拡大し、養水分吸収が一層よくなり、NO₃-N、銅の吸収が助長されるものと考えられる。

体内に吸収された銅は大部分は蛋白質と結合した形態で存在し、無機の銅イオンの形態ではほとんど存在しないとされ、銅が結合する主要酵素としてはポリフェノールオキシダーゼ、アスコルビン酸酸化酵素、ラッカーゼなどの酸化酵素があり、これらの酵素は嫌氣的条件では作用しないとされている¹⁴⁾。

一方多量に施肥された窒素は多くはNO₃-Nの形態で吸収され、体内で還元されてNO₂-N、NH₄-N、蛋白態窒素になるが、ハクサイではNO₃-Nの吸収速度より還元速度が遅いため、主脈部分にNO₃-Nの集積現象がみられる。¹⁰⁾¹³⁾¹⁴⁾このように結球葉で窒素濃度が高くなると主脈中のNO₃-N濃度が高くなっているものと考えられ、その葉位の銅含有率が高まると酸化酵素の活性が高まり、ゴマ斑点として発生するものと考えられる。

VIII 摘 要

ハクサイのゴマ症の発生要因を明らかにするため、1977~82年にわたり水耕栽培と土耕栽培で試験を実施した。

1. ポットによる土耕栽培では、窒素の多量施用により、ゴマ症は多発する傾向を認めた。
2. 施用窒素の形態とゴマ症の関係では、硝酸アンモニアより塩化アンモニアの施用でゴマ症の発生が多かった。亜硝酸ナトリウムの施用と塩化アンモニアやニトロ基を持つ化学物質の葉面散布は、ゴマ症の発生には影響がなかった。
3. 水耕栽培では培養液の窒素濃度をN11~21me/ℓ範囲とした栽培では、ゴマ症の発生は極くわずかで土耕栽培とは異なる結果であった。

4. 微量元素の多少とゴマ症発生の関係は、ホウ素欠除、マンガン過剰及び亜鉛過剰ではゴマ症の発生はなく、鉄欠除と銅過剰処理によって多発した。鉄欠除は60日間以上の長期処理では発生するが、短期間処理の発生は少なかった。

5. 水耕栽培の銅過剰処理ではCu 1～3ppmの範囲でゴマ症の発生が多く、再現性が認められた。窒素濃度を高くすると、さらにゴマ症は多発した。

6. 銅過剰処理時期としては、結球期を前・中・後期の3期に分けて処理すると、前期処理の組合せのあるものほどゴマ症は多発する傾向であった。

7. 土耕栽培で多窒素栽培したハクサイを供試し、結球葉1～40葉位にゴマ症の発生のない結球の茎の切口から銅液を吸収させると、収穫後でもゴマ症の発生がみられた。

8. 亜鉛過剰を銅過剰と組合せた場合、銅過剰による生育阻害を緩和する作用と、ゴマ症発生を軽減する働きが認められた。

謝 辞

本研究を実施するに当り有益な御指導と御助言を載いた高知大学農学部教授加藤徹博士、広島農業短期大学教授真部孝明博士、野菜試験場新井和夫室長の各位に、また、とりまために際し御助言を載いた當場植木博秀土壤肥料専門技術員に対し、謹んで感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 新井和夫, 吉田隆徳, 小松武治, 勝谷範敏: 1980, ハクサイのゴマ症発生に関する研究. 第2報. 微・多量要素の過不足と窒素形態. 昭和55年度園芸学会中四国支部発表要旨; 43
- 2) 五味清, 大八木孝之: 1972, そ菜のマンガン栄養に関する研究. 第1報. そ菜のマンガン欠乏および過剰症について. 宮崎大農研報19: 493～503
- 3) 伊東嘉明, 畠中洋, 難波宏之, 吉武貞敏: 1971, そ菜に対する各種チッソ質肥料試験. 福岡園試研報10: 61～69
- 4) 加藤徹, 棟安隆通, 中山信弘: 1977, ハクサイのゴマ症発生防止に関する研究. 第1報. 品種間差異および肥培管理の影響. 昭和52年度春季園芸学会要旨. 220～221

5) 河合一郎, 鈴木春夫: 1962, ハクサイの葉柄ごま病の発生に及ぼす薬剤の影響. 静岡農試研報7: 60～67

6) 松本美枝子: 1979, ハクサイのゴマ症発生要因に関する研究. 第1報. 供給窒素形態の影響. 昭和54年度秋季園芸学会要旨. 184～185

7) —————; 1981, ハクサイゴマ症の窒素施肥改善による発生防止に関する研究. 第2報. 体内窒素濃度の差異とゴマ症発生との関係. 昭和56年度園芸学会北陸支部要旨. 521

8) —————; 1981, ハクサイゴマ症の窒素施肥改善による発生防止に関する研究. 第3報. 葉重変化にともなう硝酸態窒素濃度とゴマ症の関係. 昭和56年度春季園芸学会要旨. 276～277

9) —————; 1982, ハクサイゴマ症の窒素施肥改善による発生防止に関する研究. 第4報. 発生の様式と窒素施肥量の関係. 昭和57年度園芸学会北陸支部要旨. 460

10) —————; 1982, ハクサイゴマ症の窒素施肥改善による発生防止に関する研究. 第5報. 硝酸態窒素濃度の変化とゴマ症発生の関係. 昭和57年度春季園芸学会要旨. 254～255

11) 斎藤喜亮: 1961, 鉍害地産植物成分に関する研究. 第5報. 作物中の銅含量について. 土肥誌32: 145～148

12) 佐々木甚之丞: 1932, 結球白菜の生育期間中に於ける養分吸収状態に就いて. 大日本農会報6

13) 杉山直儀, 高橋和彦: 1958, 蔬菜の窒素栄養の診断としての硝酸態窒素の検定について. 園芸学雑誌27. 161～170

14) 谷本俊明, 上本哲: 1982, ハクサイのゴマ症発生要因について. 広島農試研報45. 69～78

15) 吉田隆徳, 小松武治, 沖森当: 1977, ハクサイのゴマ症発生に関する研究. 第1報. 微量元素とゴマ症の発生について. 昭和52年度園芸学会中四国支部要旨. 30

16) —————. 沖森当, 大友譲二, 小松武治: 1981, ハクサイのゴマ症発生防止に関する研究. 第3報. 微量元素と窒素の多少の影響. 昭和56年度園芸学会中四国支部要旨. 48

17) 矢崎仁也: 1978, 銅の生理作用. 高井康雄, 早瀬達郎, 熊沢喜久雄編, 植物栄養土壌肥料大事典, 養賢堂 115～117

18) 山下俊平, 川口国夫: 1955, 白菜のいわゆるゴマに関する研究. 静岡農試業務年報. 146～147

Studies on the Primary Factor of the Occurrence of the Small Black Spots in Chinese Cabbage

Takanori Yoshida, Joji Ootomo and Ataru Okimori

Summary

Many small black spots frequently occur on the costae of the winter-harvesting Chinese cabbage grown in the Seto Inland Sea area. The symptom can be seen only on the petioles of the plants which have been reached the head formation stage. The marketing prices of the spotted plants are much cheaper than those of healthy ones. This study was carried out to find the cause of the symptom.

In the experiments on soil culture, the symptom occurred when the plants were grown in the high nitrogen manuring regime. Ammonium chloride induced more spots than ammonium nitrate. In the experiments of solution culture, a highly concentrated nitrogen solution did not increase the number of spots. However, copper excess and iron deficiency for long period markedly induced the symptom, but excess of manganese and zinc and deficiency of boron had no influence. Furthermore, the number of the spots increased considerably when much nitrogen was applied under the condition of copper excess or iron deficiency. The most spots occurred in the copper excess regime was treated at the beginning of head formation.

These results demonstrate that abnormal metabolism in the Chinese cabbage induced by high nitrogen level and overabsorption of copper may cause the small black spots. A possible mechanism of occurrence of the symptom is as follows; heavy nitrogen application increases the solubility of copper in the soil, the plants absorb a large quantity of the copper with nitrogen especially at the early stage of head formation, nitrate nitrogen accumulates in the costa, activity of oxidases which have copper as coenzyme increases, and the enzymes induce the symptom of necrosis.