

第1章 緒 論

1. 栄養生理障害の変遷

北海道農業試験会議に報告された栄養生理障害を表1-1に整理した。

北海道では、1960年代以前は農業資材の不足などに起因する多量要素欠乏や酸性障害、1970年ごろからは養分過剰、微量要素に関する障害が多く報告されている。

これら土壌化学性に起因する障害とは別に、1980年ころから、土壌の保水能、作土深などの土壌物理性に関わる障害事例が増加している。

この背景として、1970年以後、北海道内の野菜畑や普通畑において、作土の交換性カルシウム含量の低下、

塩基バランスの崩れなど土壌化学性の悪化に加え、心土におけるち密度の増加や、孔隙率の減少など物理性が悪化していることがある¹⁾。圃場管理機械の大型化や過湿条件における圃場管理の実施が物理性悪化の一因と考えられる²⁾。

また、収益性の高い園芸作物が、土壌理化学性の劣る水田転作畑に導入されてきたこと³⁾も物理性に関わる障害事例増加の一因と考えられる。

このような状況の中、1996年以後、イチゴ、カボチャなどの園芸作物を中心にカルシウム欠乏に係る障害報告が増えてきた。

表1-1 北海道農業試験会議に報告された養分欠乏・過剰症状や栄養生理障害、低収問題

年	作物	対象養分	特記事項
1950	コムギ	N・P・K	火山性土では十分なリン酸施肥で耐寒性や耐病性が向上した。
1950	ダイズ	N	根粒菌接種や過量の窒素施肥で増収したが、窒素の過用は減収を招いた。
1950	エンバク・バレイショ		火山性土ではリンの肥効が著しく、N・Kの肥効も大きいことが示された。
1951	エンバク・バレイショ	混層耕	新墾圃場では混層耕の効果は小さく、既墾地では漸次深耕は可能であった。
1953	コムギ	Mg欠乏	酸性土壌におけるMg欠乏は堆肥施用や酸性矯正で軽減できた。
1957	テンサイ	B欠乏	播種溝施用や葉面散布でB欠乏を改善できた。
1957	エンバク	Mg欠乏	泥炭土において酸性障害やMg欠乏を呈する場合、尿素や熔りリンの施用が有効であった。
1962	牧草	P過剰・K欠乏	P蓄積によりKが欠乏し、枯凋が早まった。
1962		ろ土	ろ土の改良にはリン施用が有効であった。
1962	ナタネ	P・微量元素欠乏	特殊土地帯ではP欠乏や微量元素欠乏が懸念された。
1962	テンサイ	トラクタの影響	大型トラクタにより耕起した圃場では瘦薄な下層土が混入するため多肥とする畑が多かった。
1964	イネ等	深耕対策	火山性土では深耕時にはP増肥が望ましかった。
1964	テンサイ・ダイズ	P・B欠乏	テンサイでは有機物とBの施用が、ダイズではP供給が重要であった。
1965		Ni過剰	蛇紋岩地帯では凹地や湿性化した地点でNi過剰が生じやすかった。
1965	エンバク・バレイショ	Mg	交換性MgOを1cmol/kg ⁻¹ 以上に保つべきであった。
1965	テンサイ	Na欠乏	Na不足が指摘されたが、Naの基準値策定には至らなかった。
1966	イネ	Mg欠乏	泥炭土では潜在的なMg欠乏が生じていた。
1966	タマネギ	P過剰	Pの過剰施用は早期凋落を招いた。
1966	デントコーンなど	ろ土	ろ土では微量元素が収量の制限要因となっている圃場が多かった。
1966	畑作物	P欠乏	深耕や混層耕を行った圃場ではPの施用効果が高かった。
1966	イネ	P欠乏	粗粒な火山性土地帯への客土でPが減り、生育が不安定となった。
1970	コムギ	Cu欠乏	土壌母材にCuが少ない地域や耕土層を拡大した地域でCu欠乏が発生した。
1970	アズキ	Cu過剰	果樹園跡地で0.1N塩酸可溶性Cu含量が8ppm以上で過剰害が発生した。
1971	牧草	K過剰・Mg欠乏	KとMgのバランスの崩れによるMg欠乏が発生した。
1974	イチゴ	K欠乏・Mg過剰	K地方の低い地帯ではMgが過剰にならないように熔りリンの施用を行わないことが指導された。
1975	トウモロコシ	Zn欠乏	火山性土地帯でZn欠乏が発生した。対策として堆肥施用が有効であった。
1976	トマト		グズベリ果やすじ腐果の発生対策が検討された。
1977	アルファルファ	B	FTEの施用により増収した原因はBやMnの吸収増加が原因であった。
1980	小麦	Cu欠乏	作物体のCu/Fe比が0.008以下では不稔となることが明らかにされた。
1981	トマト		空洞果の発生要因が検討された。
1983	メロン	K過剰	K蓄積に対応したK施肥量が設定された。
1984	ハウレンソウ	Mn欠乏	土壌のMn含量が少ない地帯で多雨によりMn欠乏が発生した。
1985	牧草	K過剰	K供給量に応じたK施肥量が設定された。
1986	畑作物	耕盤層	耕盤層の判定基準が設定された。
1987	牧草	P	火山灰草地におけるP肥沃度に対応した施肥量が設定された。
1988	園芸作物	K	K肥沃度に対応した施肥量が設定された。
1988		Cu・Zn欠乏	Cu・Zn欠乏の発生予察図が作成された。
1991	ダイコン	B欠乏	赤心症の発生原因は高地温などによるB欠乏であった。
1993	キュウリ		葉枯症の原因が検討され、低温多湿条件でのP過剰によるK・Mg欠と推察された。
1995	メロン		早熟果の原因が検討され、成熟期の土壌水分管理基準が設定された。
1996	イチゴ		きたえくぼの先白果の発生原因が検討された。
1998	カボチャ	Ca欠乏	低品質果の発生原因が検討され、Ca欠乏や圃場排水性との関係が示唆された。
1998	ユリ	Ca・B欠乏	アノコ症の発生原因が検討され、急激な肥大や根域不足によるCa・B欠乏が原因と判断された。
2000	テンサイ	低pH	直播栽培における初期の生育障害の原因は低pHにあり、対策が検討された。
2000	ブロッコリー		花蕾腐敗病の発生原因が検討された。
2001	メロン		実くずれ果の発生が検討され、収穫期近くの高温・多雨、耕盤層などの原因が明らかにされた。
2004	キャベツ	Ca欠乏	雪中貯蔵キャベツの内部黒変原因が検討され、土壌の石灰飽和度の影響が認められた。
2009	トマト	K欠乏	茎葉部を含めた圃場からのカリウムの持ち出し量は施肥量を上回るため、欠乏が発生した。

2. カルシウム欠乏の原因と対策

カルシウムは、細胞膜の機能維持、様々な環境変動のセカンドメッセンジャー、病害抑止^{4)~6)}、有機酸の中和⁷⁾、アントシアニンの生成⁸⁾⁹⁾など多様な役割を果たしており、欠乏は壊死などの障害を起こす事が分かっている。

カルシウムは、主にカスパリー帯が未分化な根端部で受動吸収されるほか、イオンチャンネルなどを介して積極吸収される。このため、吸収に多様な要因が影響する。たとえば、受動吸収に影響する土壤水分¹⁰⁾や根端部の量に関係する土壤硬度¹¹⁾のほか、積極吸収に影響する地温¹²⁾、カルシウムと吸収が拮抗するカリウム、リン、アンモニアなどとの養分バランスなどである¹³⁾。

吸収後は導管内を蒸散流により移動するため、移動速度は体内水分や外気の湿度などの影響を受け、また、葉や果実での濃度は生長速度への影響が大きい窒素などの養分の影響を受ける。

このように、作物体のカルシウム濃度に様々な要因が影響するため、カルシウム欠乏に対策に関する報告も多様である。

これらを、当面の対策と根本的対策に分けた場合、当面の対策としては体内のカルシウム濃度を高めるための石灰資材の葉面散布¹⁴⁾や、塩化カルシウムの施用¹⁵⁾、カルシウムの吸収を促すための灌水法の見直し¹⁶⁾や施肥窒素形態の見直し¹³⁾¹⁷⁾、体内でのカルシウム移動を促すためのNAA葉面散布¹⁸⁾などがある。

一方、根本的対策としては、土壤化学性の適正化¹⁴⁾¹⁹⁾²⁰⁾や、カルシウム濃度の低下を防ぐための窒素施肥量の見直し²¹⁾²²⁾、深耕などによる土壤物理性改善による受動吸収の促進などである。これら根本的対策に関する具体的改善目標値は北海道施肥ガイド2010に示されている²³⁾。

したがって、これらを組み合わせればカルシウム欠乏の改善は可能である。ただし、カルシウム欠乏に係る要因が多いため、改善効果の大小を明らかにし、優先されるべき対策を示すことが効果的な対策を立てる上で必要である。また、カルシウム欠乏の発生をカルシウム含有率のみでは説明できないとする報告は多く、カルシウムの形態や、カルシウムと窒素との濃度の比が有効であるとの指摘もあるなど、カルシウム欠乏の危険性を判断する指標項目や指標値は明確でない。作物や欠乏部位により判定指標となる項目は異なると考えられるが、欠乏の危険性を判断する項目を明らかにすることは、対策の策定、および、効果検証をする上

で重要と考えられる。さらに、改善目標値は、具体的に示されていることが望ましいと考えられる。

3. 本論文の目的

本研究においては、まず、トマト、イチゴにおけるカルシウム欠乏の事例から、カルシウム欠乏の発生要因を明らかにしようとした。

次に、カルシウム欠乏が誘因となるブロッコリーの花蕾腐敗病の発生を例に、カルシウム欠乏の発生に影響を及ぼす要因を検討するとともに、カルシウム欠乏の危険性を示す指標項目を設定した。また、カルシウム欠乏への影響が大きいと考えられた根域深、窒素施肥、カルシウム資材の施用について、その改善効果の大小を検討し、対策としての優先順位を明らかにした。なかでもカルシウム欠乏への影響が大きかった根域深と窒素施肥について具体的な改善目標値を示した。

なお、カルシウム欠乏対策として重要と考えられた根域深の拡大方策を、ブロッコリーを対象とした試験で示せなかった。そこで、テンサイの低収問題を例に、暗渠、客土、心土破碎などの土地改良が根域深拡大に及ぼす効果を検討した。

以上のことを総合して、作物のカルシウム栄養状を改善するための栽培管理指針としてとりまとめた。これらの知見をもって、北海道の園芸作物の安定生産に貢献しようとした。

第2章 カルシウム欠乏の発生要因解析

第1節 トマトのチャック果、窓あき果の発生要因の解析

1. 既往の知見

チャック果は、花芽分化期に雄蕊と雌蕊が分離せず、果皮に雄蕊が癒着したまま肥大し、その跡がチャック状にコルク化した果実である。そのチャックが裂けたのが窓あき果である。

これら障害は、育苗管理条件が不適当な場合に発生し、本葉2～6葉期までの低温やアンモニア態窒素の多用により多発する。加藤や豆塚は、これら条件が障害発生に及ぼす影響を精査し、花芽分化期のカルシウム不足が原因であり、根活性の低下や過剰なアンモニアがこれを助長することを明らかにした^{12) 24)}。根の活性を低下させる急激な温度変化や、育苗床土の過湿の繰り返しも発生要因となることが報告されている²⁵⁾。

一方、カルシウム欠乏は多肥により茎葉生育が旺盛となり果実へのカルシウム集積が減少した場合や²⁶⁾、蒸散量が減少した時に発生する。このような条件は育苗時に限らず本圃においても発生が懸念される。しかし、本圃における施肥や土壌条件が障害発生に及ぼす影響を報告した例がない。そこで、土壌理化学性を含めて、本圃における障害発生要因を検討した。

2. 調査方法

調査は1999年6月11日から8月26日にかけて、石狩川中流域に位置する滝川市江部乙地区の低平地で行った。過去の障害果発生歴が異なる近接する6農家(M, T, N, S, K, I)を対象に行った。なお、同市は水田への転作作物としてトマトを導入した新興産地(栽培面積:1.6 ha, 1999年)のため、調査農家の栽培技術は農家により異なった(後述)。調査ハウスの大半は、周りを水田で囲まれていた。

調査した作型はハウス無加温半促成長期どり(定植期:4月下旬～5月上旬, 収穫期:6月中旬～9月上旬, 収穫段位:10～11段まで)であった。各農家とも同一農家が同一ハウスで育てた苗(品種‘桃太郎8’)を定植していた。

温度管理は、マルチ被覆、トンネル被覆(早春夜間のみ)、手作業の側窓換気により、また、灌水はマルチ下の有孔チューブでなされていた。

チャック果、窓あき果の発生は20株を対象に調査し、各果房段位毎(1～8段位)の障害果数割合で発生程度を評価した。

草丈、葉長、茎径は同一の5株で継続調査した。各果房の収穫盛期に果実5個と、収穫した果房段位に近い小葉を採取し、含まれる無機成分濃度を常法²⁷⁾により測定した。

栽培終了後に1 mの深さまで土壌断面を調査し、土層毎に透水性と一般化学性を測定した。

気・地温はハウス中央部付近の地表から50 cmの高さと地表から20 cmの深さで自記温度計により計測した。

3. 結果

1) 調査地域の土壌・栽培法の概要

滝川市におけるチャック果や窓あき果は、作付面積が拡大した1999年頃から問題となっていた。

本圃での栽培管理法は農家毎に異なり、多収を目的に多灌水する農家(S, I, K, T)と、糖度の向上を目指し少灌水する農家(N, M)に分かれた。施肥は、基幹作物であるイネとの労働競合を避けるため、基肥重点の例が多く、窒素で210 kg-N ha⁻¹に達している事例もあった。

当地域の主要な土壌は低地土であるが、河岸段丘が存在するため土壌の分布は複雑であった。調査圃場は水田転換畑であるが、土性は農家により異なった。さらに、耕起法が異なるために有効土層深は農家により異なった。

2) チャック果および窓あき果発生割合

チャック果発生割合を表2-1に、窓あき果発生割合を表2-2に示した。

障害は果実肥大期(果径10 mm程度)に識別できた。発生割合は両障害果とも最大12.5%で、発生割合は農家や果房段位により異なった。

チャック果が初期のみ発生していたのは1農家(M)、中段果房まで時々高い割合で発生したのは1農家(K)、中段果房まで継続して発生したのは2農家(N, S)、上段果房まで常時高い割合で発生し続けたのは2農家(I, T)であった(表2-1)。

窓あき果が初期に高い割合で発生していたのは2農

表2-1 農家別チャック果発生割合

農家\果房段位	1	2	3	4	5	6	7	8	平均	発生時期の特徴
M	3.6	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	—	—	1.3	初期のみ発生
K	2.8	1.5	0.0	6.3	3.1	0.0	0.0	—	2.0	中段果房まで時々発生
N	2.6	1.1	2.6	0.7	3.3	0.0	0.0	—	1.5	中段果房まで継続して発生
S	4.0	5.7	7.8	5.1	5.0	1.4	0.0	0.0	4.1	中段果房まで継続して発生
T	0.5	0.0	2.5	3.6	3.1	0.0	0.0	8.3	1.4	上段果房まで発生
I	0.0	5.4	3.3	1.6	1.4	0.0	12.5	—	3.5	上段果房まで発生

注) 発生割合は調査果数に占める障害果数を百分率(%)で表した。

表2-2 農家別窓あき果発生割合

農家名\果房段位	1	2	3	4	5	6	7	8	平均	発生時期の特徴
M	2.0	2.6	2.5	0.7	1.9	0.0	—	—	1.6	初期に高い割合で発生
N	8.2	10.2	1.3	0.0	1.1	3.3	0.0	—	3.4	初期に高い割合で発生
K	5.6	1.5	1.4	6.3	9.4	4.2	0.0	—	4.2	中段まで発生
S	0.6	2.3	7.8	4.4	7.0	5.6	2.3	0.0	4.3	6段目まで高い割合で発生
T	4.2	12.5	2.5	4.5	3.1	4.2	7.7	0.0	5.5	上段果房まで高い割合で発生
I	1.8	7.6	4.3	7.8	1.4	2.5	4.2	—	4.2	上段果房まで高い割合で発生

注) 発生割合は調査果数に占める障害果数を百分率(%)で表した。

家(M, N), 中段果房まで発生していたのは1農家(K), 6段果房まで高い割合で発生していたのは1農家(S), 上段果房まで高い割合で発生し続けたのは2農家(I, T), であった(表2-2)。

3) 作物体調査結果

(1) 茎葉部生育

障害果の発生は平均茎径が太い農家で多かった(図2-1, 図2-2)。

各果房段位の直下で測定した茎径と葉長の平均値,

および, 草丈の推移を表2-3に示した。

草丈の高低は, その時肥大している果房のチャック果の発生割合にほぼ対応した。すなわち, 6月25日における草丈は, その時点で肥大している3~5段目のチャック果発生割合に, また, 7月12日の草丈は5~6段目のチャック果発生割合にほぼ対応した。

窓あき果発生割合は草丈や平均葉長と関係は有意でなかったが, 6月25日では草丈が高いほど窓あき果が多い傾向にあった。

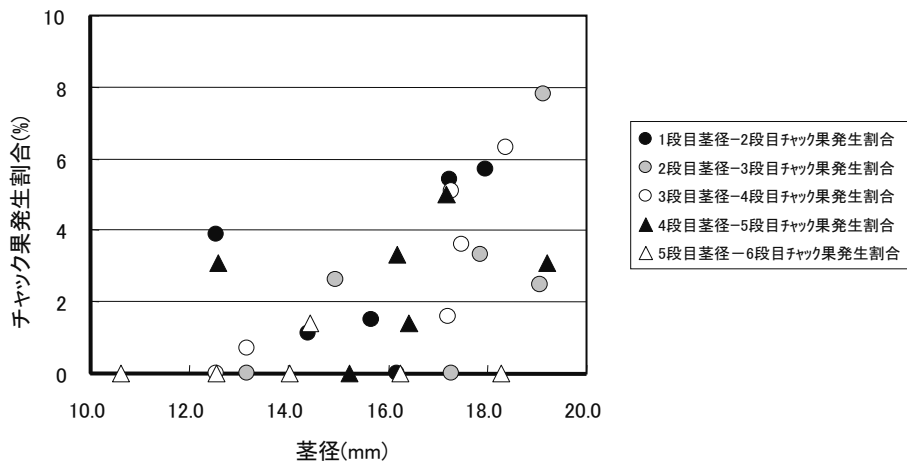


図2-1 茎径とチャック果発生割合との関係

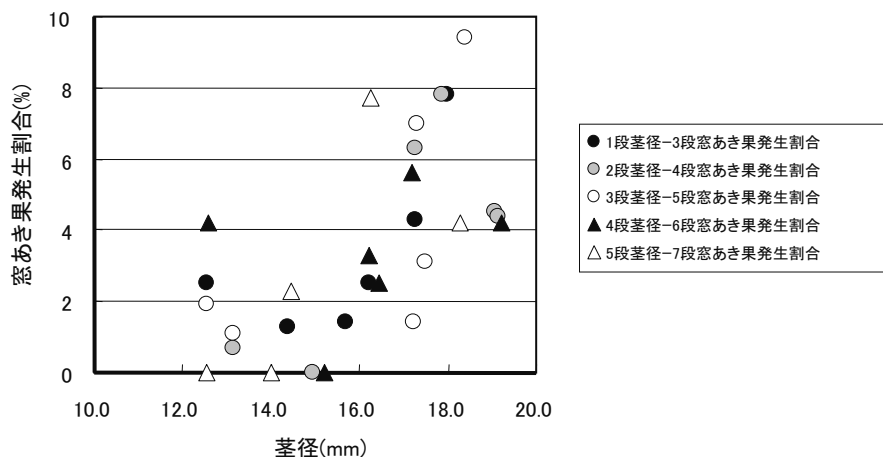


図 2-2 茎径と窓あき果発生割合との関係

表 2-3 トマトの生育調査結果

農家	項目	茎径 (mm) ^{注1)}	葉長 (cm) ^{注1)}	6月25日			7月12日			8月6日
				草丈 (cm)	チャック果 (%) ^{注2)}	窓あき果 (%) ^{注2)}	草丈 (cm)	チャック果 (%) ^{注3)}	窓あき果 (%) ^{注3)}	草丈 (cm)
M		12.7±1.2	43±3.3	132	0.0	1.7	185	0.0	1.0	261
N		13.0±1.9	41±1.7	130	2.2	0.8	182	1.7	2.2	237
K		13.4±2.9	38±2.6	136	3.1	5.6	181	1.6	6.8	239
S		15.4±2.5	40±1.4	166	6.0	6.4	206	3.2	6.3	270
T		15.7±2.3	47±3.2	141	3.1	3.4	199	1.6	3.7	247
I		16.7±1.9	36±2.0	139	2.1	4.5	183	0.7	2.0	249
草丈と障害発生割合との単相関係数				—	0.873*	0.742	—	0.687	0.401	

注 1) 各果房段位 (1～8 段) に直近の各部位測定値の平均値。

注 2) 3 から 5 段果房における各障害果発生割合の平均値。

注 3) 5 から 6 段果房における各障害果発生割合の平均値。

(2) 果実の無機成分濃度

4～7 段目の果実の無機成分濃度を、正常果とチャック果とで対比して表 2-4 に示した。チャック果は正常果より、がく片や子室部のカルシウム濃度が低く、果皮部のリン濃度やがく片のマグネシウム濃度が低い傾向にあった。6 月 22 日に採取した 2～3 段目果房の窓あき果発生割合と果皮部、がく片、子室部の無機成

分濃度との関係を図 2-3 に示した。窓あき果発生割合が多い農家ほど果皮部、がく片のカルシウム濃度が低い傾向にあり、窒素、カリウム、リンおよびマグネシウム濃度が高い傾向にあった。

表2-4 チャック果の無機成分の特徴

部位		N	P	K	Ca	Mg
がく片	濃度(g kg ⁻¹)	17.1	2.4	18.0	13.0	3.9
	相対値	91	99	103	87	88
子室	濃度(g kg ⁻¹)	22.6	4.7	30.1	0.3	1.6
	相対値	95	102	96	75	97
果皮	濃度(g kg ⁻¹)	11.5	3.9	26.2	1.1	1.3
	相対値	107	76	101	99	101

注) 濃度は乾物重量当たりで表示した。

相対値は正常果の値を100とした相対値を示す。

6農家で採取した4～7段果房の果実(n=25)濃度の平均値で表した。

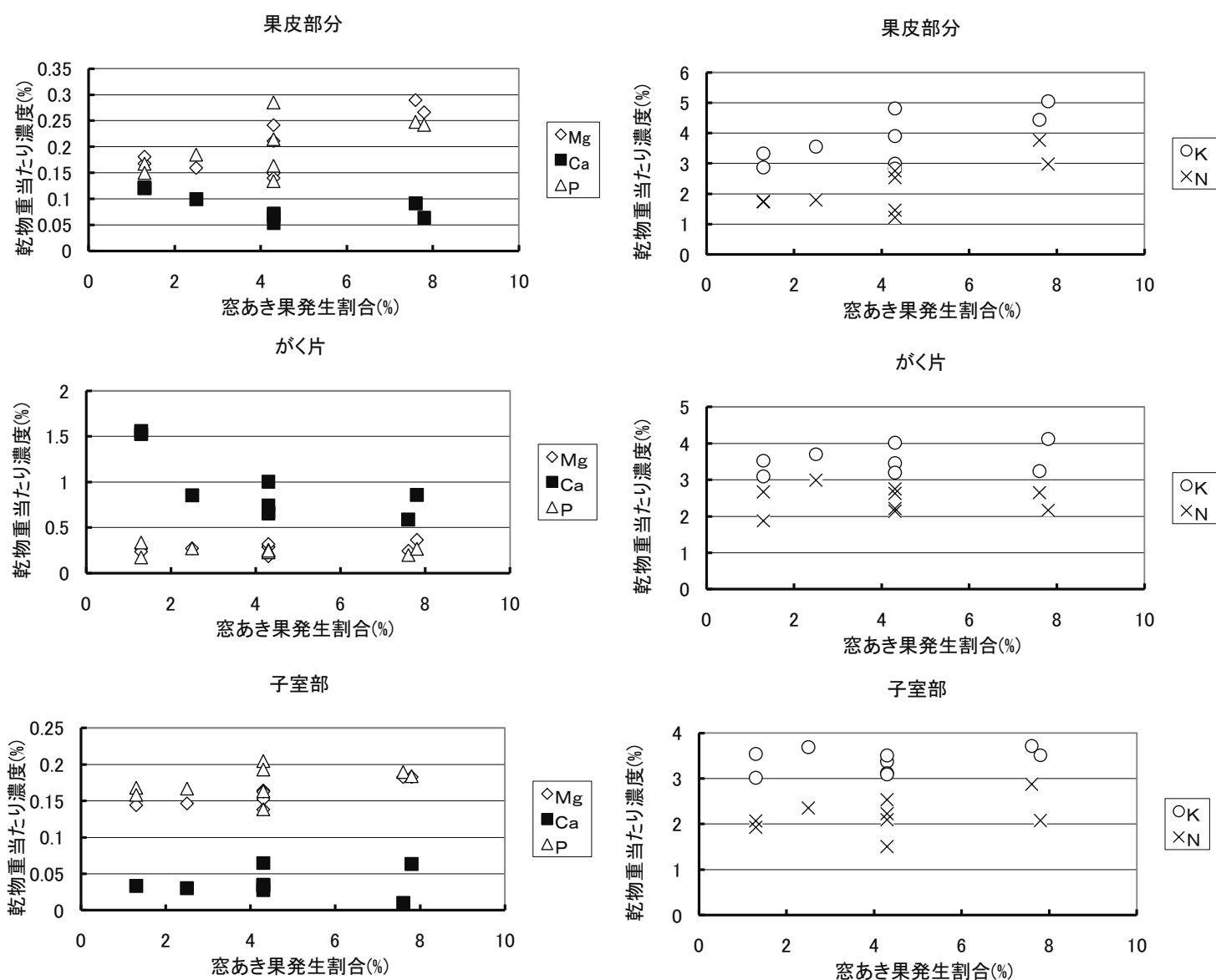


図2-3 窓あき果発生割合と果皮部の無機成分濃度との関係

(3) 小葉の無機成分の濃度

1～6段までの小葉の無機成分濃度の平均値を表2-5に示した。窓あき果発生割合は小葉のカルシウム濃度と負の相関関係にあった。

チャック果発生割合と無機成分濃度の関係は判然としなかったが、段位毎に見ると障害果発生割合と小葉のCa/K比は概ね負の相関関係にあった(図2-4)。

表2-5 各農家のトマトの小葉の無機成分濃度と障害果との相関係数^{注1)}

農家名	小葉の無機成分濃度(g kg ⁻¹)					小葉成分濃度比		チャック果 割合(%) ^{注4}	窓あき果 割合(%) ^{注4}
	N	P	Ca	K	Mg	Ca/K	Ca/N		
M	33.1	2.3	68.6	17.8	7.5	3.85	2.07	1.3	1.6
N	36.5	2.3	37.6	36.9	9.9	1.02	1.03	1.5	3.4
K	33.1	1.6	38.7	28.5	8.0	1.36	1.17	2.0	4.2
T	36.0	1.5	35.9	37.6	10.0	0.95	1.00	1.4	5.5
I	34.8	2.4	37.7	29.9	8.7	1.26	1.08	3.5	4.2
S	36.0	3.3	40.9	25.0	21.8	1.64	1.14	4.1	4.3
r ^{注2)}	0.212	0.73	-0.315	-0.197	0.706	-0.225	-0.326	-	-
r ^{注3)}	0.506	-0.456	-0.875*	0.705	0.278	-0.855*	-0.869*	-	-

注1) 濃度は1～6段各果房直近の小葉濃度の平均値。

注2) 1～8段果房のチャック果発生割合との単相関係数。

注3) 1～8段果房の窓あき果発生割合との単相関係数。*は5%，**は1%の危険率で関係が有意なことを示す。

注4) 1～8段果房の発生割合の平均値。

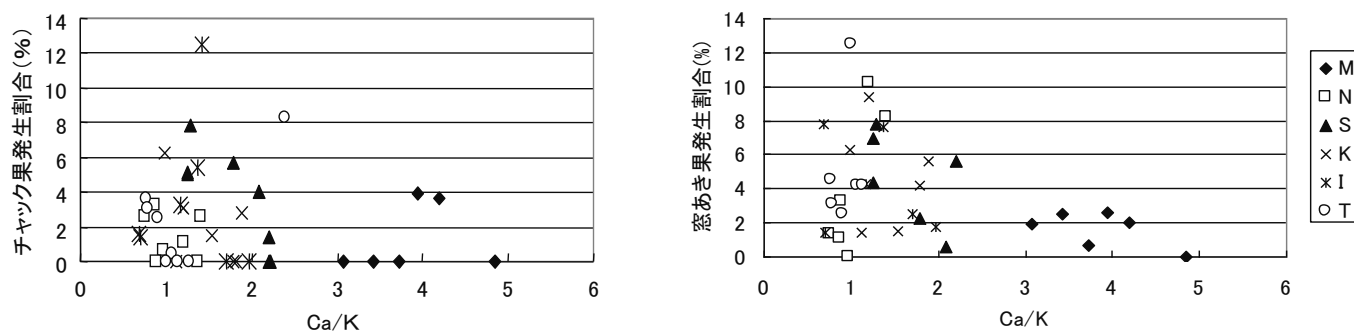


図2-4 小葉のカルシウム/カリウム濃度比と障害果発生割合との関係

注1) 6農家の1～6段目の果房の調査結果。農家の区別は判例により示した。

注2) カルシウム/カリウム濃度は障害果発生割合調査果房に直近の葉の値。

4) 土壌理化学性調査結果

(1) 土壌断面の概要

土壌断面調査結果を表2-6にまとめた。

3層目の透水性が比較的良好で、少灌水で栽培されていた2農家(M, N)は障害果の発生割合が他の農家より低い傾向にあった。

障害果の発生時期は、3層目の透水性が良好で、少灌水な農家は初期に限られていた(農家M, N)。一方、

障害果が上段果房まで発生していた2農家(I, T)は、地下水面やその影響が50cm程度に認められ、かつ、灌水量が多く、過湿条件で栽培されていた

このように、圃場の透水性、地下水面、灌水法と障害果発生割合や発生時期に関連が認められた。

なお、主要根群域も3層目の透水性不良な農家は18～23と浅かった。

表2-6 土壌断面調査結果の概要

農家名	土性 1/2/3層目	透水性 1,2層目/3層目	断面に現れた斑紋	主要根群域 (cm) ^{注1}	(cm) 地下水面
M	SiL/SiL	良/良	雲状斑	43	100以下
N	L/L/SL	良/やや良	糸根状	25	43
K	L/SiC/CL	良/不良	管状	18	78
S	L/L/SiCL	良/やや不良	—	25	77
T	L/CL/CL	良/不良	Mn斑集積層(深さ54cm)	18	100以下
I	L/CL/CL	良/不良	糸根状, Mn斑	23	50

注1: 断面に現れた根を目視観察して評価した。

(2) 土壌化学性の概要

収穫終了時における作土層の土壌化学性を表2-7に示した。

大半の農家において交換性カルシウム含量は基準値以上であったが、カリウムやマグネシウムなどが過剰

な圃場は多く、2/3の圃場で交換性カリウムが土壌診断基準値を上回り、全圃場において交換性マグネシウムや有効態リン酸含量が土壌診断基準値を超えていた。Ca/Mg比が高い農家ほどチャック果や窓あき果が少なかった。

表2-7 栽培跡地における作土の化学性分析結果

農家名	pH	EC (dS m ⁻¹)	無機態N (mg kg ⁻¹)	交換性塩基(cmol _c kg ⁻¹)			(mg kg ⁻¹) トルオーグリン酸	Ca/Mg比	障害果発生 割合(%)
				CaO	K ₂ O	MgO			
M	7.1	0.11	12.5	7.23	0.78	1.06	926	4.9	2.9
T	6.5	0.20	6.8	7.27	0.26	1.32	525	3.9	6.9
K	6.1	0.15	16.9	8.66	1.27	2.83	1964	2.2	6.2
S	5.7	0.33	48.0	6.04	0.82	2.07	1210	2.1	8.4
N	5.4	0.09	8.4	4.32	0.64	0.81	700	3.8	4.9
I	5.6	0.25	15.8	2.66	0.50	0.89	1060	2.1	7.7

注) 障害果発生割合はチャック果と窓あき果の合計発生割合で表した。

5) 地温の測定結果

計器故障 (T, I, K) や計器の誤作動により気温を測定できなかった農家が多かったため、安定してデータが得られた地温を解析に用いた。

障害が目視できた果実直径が概ね 10 mm となった時期の最低地温と窓あき果発生割合との関係を図 2-

5 に、地温の日格差（最高地温と最低地温の差）とチャック果発生割合との関係を図 2-6 に示した。

窓あき果は最低地温が低いほど多発していた。また、チャック果は地温の日格差が大きい農家ほど多発していた。地温の日格差の農家間差は、6 月中旬以前で大きかった。

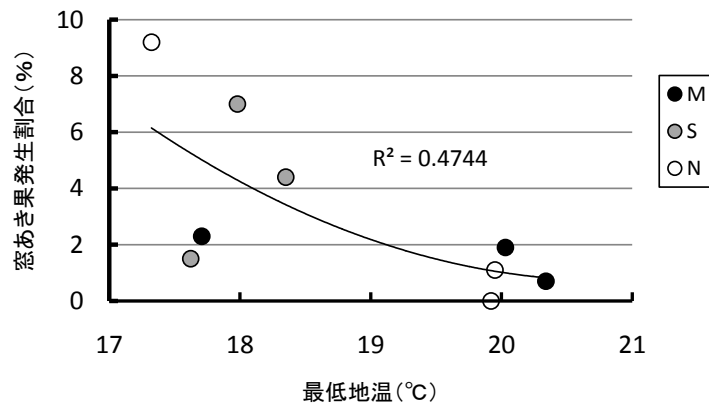


図 2-5 栽培期間の最低地温と窓あき果発生割合との関係

注 1) 複数の果房段位での調査結果。地温は、果実直径が約 10 mm に達した時点の測定値。

注 2) 凡例により農家を区別した。

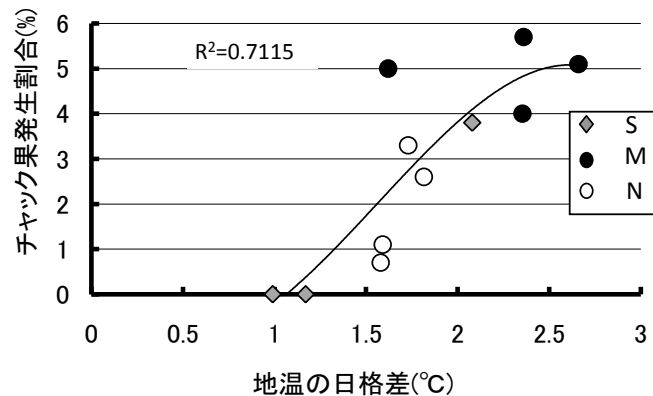


図 2-6 栽培期間中の地温の日較差とチャック果発生割合との関係

注 1) 複数の果房段位での調査結果。地温は、果実直径が約 10 mm に達した時点の測定値。

注 2) 凡例により農家を区別した。

4. 考察

チャック果および窓あき果の発生原因を作物体の生育と栄養状態、土壤理化学性および地温から解析した。

各農家とも同一農家が育苗した苗を定植していたが、障害果発生割合に差があったことから（表2-1、表2-2）、本圃における栽培管理が障害発生に影響していたと考えられる。

障害果と正常果の無機成分濃度を比較した結果、がく片や子室部のカルシウム濃度はチャック果のほうが正常果より低く（表2-3）、果皮部やがく片のカルシウム濃度は窓あき果のほうが正常果より低かった（図2-3）。さらに、障害果が少発であった農家ほど小葉のCa/K比は高かった。このように、加藤や豆塚らの報告^{12) 24)}と同様に、これら障害果の発生にカルシウム欠乏の影響を認めた。

チャック果や窓あき果の発生が多かった圃場は、①土壤の交換性カリウムやマグネシウム含量が高く、②茎葉生育が旺盛で、③最低地温が低く地温日較差が大きく、④地下水面が浅く、多灌水であり、排水性が劣るなど栽培条件が過湿である特徴があった。したがって、これらが原因してカルシウム欠乏が促されていた可能性が考えられた。

カリウムやマグネシウムはカルシウムと吸収が拮抗する養分で、これらが過剰な圃場が多かった。また、障害果が多かった圃場は土壤のCa/Mg比が低く、小葉のカルシウムとカリウムの濃度比（Ca/K比）が低かった（図2-4）。したがって、土壤塩基バランスの崩れが発生を助長している可能性が考えられた。

リン酸過剰もカルシウム欠乏を助長する^{15) 16)}。各農家とも土壤の有効態リン酸は過剰であった。したがって、リン酸過剰が障害発生を助長していた可能性は否定できない。

障害果は草丈が高く茎径が太い圃場において多かった。このことから、茎葉と果実とのカルシウム分配競合が果実のカルシウム欠乏を助長した可能性がある¹²⁾。地域の主作物であるイネとの労働競合により適切な時期に分肥を行えないため基肥量を多くしている農家もあり、このことが茎葉生育を旺盛にして欠乏を助長した可能性がある。

窓あき果は最低地温が低かった農家において、また、チャック果は地温の日格差が大きかった農家において多発していた（図2-5、図2-6）。低温は根の活性を低下させ、カルシウムの積極吸収を阻害することが明らかにされている¹²⁾。地温の日格差には農家間差があり、それは気温が低い6月中旬以前に顕著であり、そ

れ以後は農家間差が小さかった。したがって、障害果を減らすためには、生育初期に地・気温を適切に管理することが必要で、そのためにはマルチフィルムの選択や、自動側窓開閉システムなどを用いたこまめな換気などが有効と考えられる。

土壤物理性との関係を見ると、障害果が長期間にわたり多発していた農家は、3層目の透水性が劣り、地下水面が浅く、かつ、灌水量が多く、過湿条件で栽培されていた。3層目の排水性が不良なほど主要根群域も浅かった。カルシウムはカスパリー帯が未分化な根端で受動吸収されるため⁹⁾、主要根群域の拡大はカルシウム吸収に有利と考えられる。水分や地温の変動など根へのストレスが大きいと、カルシウム欠乏が生じることも報告されている^{25) 28)}。以上から過湿な栽培環境が根量や根へのストレスを介してカルシウム吸収を抑制し、欠乏を促していたと考えられた。

以上を要約すると、果実のカルシウム濃度の不足がチャック果や窓あき果の発生を促し、これには土壤化学性、地上部生育量のほかに、過湿な栽培環境が影響を及ぼしていると考えられた。

第2節 イチゴの着色不良果の発生要因

1. 既往の知見

1) イチゴの着色生理に関する研究

イチゴ果実の赤色色素はアントシアニンである。色の濃さに反映するアントシアニン含量は品種間差が大きいものの²⁹⁾、温度や日射³⁰⁾、特に、紫外線の影響を受けて変化する³¹⁾。

イチゴの着色不良について、‘宝交早生’、‘ダナー’の「白ろう果」のほか、‘とよのか’の「色むら果」について研究がなされており、温度や光強度の不足がその原因とされる^{29) 30)}。

一方、カルシウム、亜鉛、マグネシウムの欠乏や³²⁾、窒素やカリウムの過剰施肥で過繁茂となりカルシウム濃度が低下した株において³⁸⁾アントシアン合成の低下が報告されている。

アントシアニンの合成に、作用機作は十分解明されていないが、カルシウムイオン、カルシウムイオンチャンネルが重要な役割を果たしていることが多数報告されている^{8) 9) 34) 35)}。

カルシウムはイチゴ果実の保鮮性を高めるためにも重要である。イチゴ果実を硬くして保鮮性を向上させるために硝酸石灰の施用や塩化カルシウム溶液の葉面散布が有効である³⁶⁾。

このように、イチゴにおいてカルシウムは着色や保鮮性など品質を高めるために重要な養分である。しかし、その濃度に及ぼす土壤理化学性の影響は未検討である。

2. 調査方法

調査は1996年5月上旬（収穫開始期）、5月中旬（収穫盛期）、および、6月中旬（収穫終了時）に渡島・檜山管内のイチゴ（品種‘きたえくぼ’）栽培圃場で実施した。

果実先端部1 cm 程度のみが着色しない先白果発生

程度は、先白果発生指数として5段階で評価した。すなわち、先白果がない：0、先白果と疑わしい果実が株当たり1個ある：1、明らかに先白果と認められる果実が株当たり1個ある：2、先白果が株当たり2個ある：3、先白果が株当たり3個以上ある：4とした。先白果が多く認められる5月上旬に、生育が中庸である10株の先白果発生指数を調査し、平均値を圃場の先白果発生指数とした。

5月中旬に39ヶ所の圃場で土壌化学性分析用試料を60 cmの深さまで20 cm毎に採取するとともに、肥培管理状況の聞き取りを行った。内12ヶ所で6月中旬に土壌断面を調査し、土壌物理性調査用試料を採取した。5月中、下旬に26ヶ所で作物体の調査と試料採取を実施した。

土壌化学性は、pH、ECと硝酸態窒素、熱水抽出性窒素、トルオーグリン酸および交換性塩基含量を測定した²⁷⁾。土壌断面は深さ1 mまで調査し、透水係数、ち密度（山中式硬度計で測定）、および、含水率を測定し、糸根状および管状の斑鉄の含まれ具合から排水不良で多湿となり易いと推測される土層深を求めた。

作物体の調査は、先白果発生指数が中庸な3株を採取し、葉身、葉柄、果実およびその他に分け、部位別に重量と窒素、リン、カリウム、カルシウムおよびマグネシウム濃度を測定した。なお、5月中旬に9圃場で採取した果実を先白果と正常果とに分け、それぞれの果実を先端部から5 mmの部分で切断し、先端部と果梗側に分け無機成分濃度を測定した。

3. 結果

1) 先白果発生程度

先白果発生指数を表2-8にまとめた。発生指数が2以上で発生対策が必要と考えられた圃場は半数以上の28筆であった。土壌タイプにより発生指数に差が認められ、低地土は火山性土に比較して高く、低地土でも泥炭土の圃場で高かった。

表2-8 土壌別の先白果発生指数

土壌	n	平均	最大	最小
全体	39	1.3	3.0	0.0
火山性土	13	0.5	2.4	0.0
褐色森林土	1	0.5	—	—
低地土	21	1.8	3.8	0.4
(泥炭土)	2	3.4	3.8	2.9

注) 先白果発生指数：0（なし）～4（多）

2) 施肥実態

施肥窒素量は平均 135 kg-N ha^{-1} 、最大 336 kg-N ha^{-1} であった。これに加えて、68%の農家で窒素放出量として平均 65 kg-N ha^{-1} の有機物を施用しており、これらを合わせた推定窒素施用量は平均 179 kg-N ha^{-1} に達し、約 67%の農家において窒素施用量が北海道施肥標準量を上回り多肥傾向にあった（図2-7）。

3) 栽培圃場の土壌化学性の実態

栽培圃場の0～20 cmの深さの土壌の化学性を表2-9に土壌タイプ別にまとめた。

0～20 cmの深さの全平均は、pH:5.9, EC:0.2 dS m^{-1} 、硝酸態窒素:33 mg kg^{-1} 、熱水抽出性窒素:120 mg kg^{-1} であった。トルオーグリン酸、交換性塩基含量はいずれも野菜畑土壌の診断基準値に比較して高く、平均値はトルオーグリン酸:1080 $\text{mg-P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ （診断

基準 $150 \sim 300 \text{ mg kg}^{-1}$ 、以下同じ）、交換性カリウム:1.42 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ($0.32 \sim 0.74 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)、交換性カルシウム:16.6 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ($3.57 \sim 16.1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)、交換性マグネシウム:2.85 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ($1.0 \sim 2.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) に達した。

20～40 cmの深さの土壌の測定値の全平均値は硝酸態窒素:35 mg-N kg^{-1} 、トルオーグリン酸:620 $\text{mg-P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ 、交換性カリウム:1.49 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 、交換性カルシウム:14.1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 、交換性マグネシウム:2.8 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ であった。

偏差が大きいため中央値で土壌タイプ別に分析値を比較した結果、pH, ECに火山性土と低地土で差はなかったが、硝酸態窒素、熱水抽出性窒素、トルオーグリン酸、交換性塩基の各含量は、いずれも低地土で高かった。

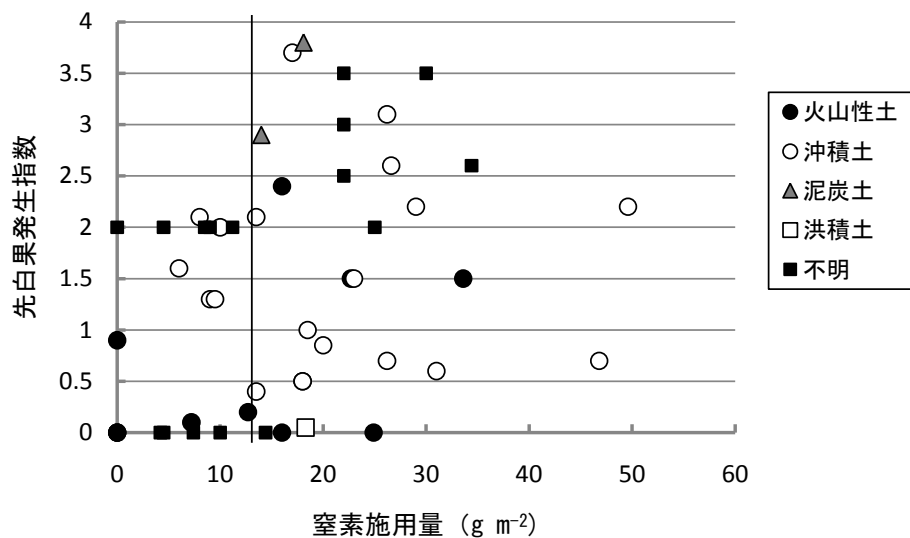


図2-7 窒素施用量と先白果発生指数との関係

注) 窒素施用量: 有機物1 t 当たり窒素1 kgとして計算した施肥窒素と施用有機物由来の窒素の合計値。

表2-9 ‘きたえくぼ’栽培圃場の0～20cmの深さの土壌化学性の実態

項目	火山性土(n: 13)			褐色森林土 (n: 1)	低地土(n: 21)			泥炭土(n: 2) 平均
	中央値	最大	最小		中央値	最大	最小	
pH	5.9	6.4	5.4	7.1	5.9	6.7	4.6	5.5
EC	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0	0.1	0.4
硝酸態窒素	18	68	6	16	31	146	1	146
熱水抽出性窒素	76	193	45	151	129	300	25	248
トルオーグリン酸	679	2840	253	4220	969	1970	184	921
交換性カリウム	0.95	1.56	0.66	1.47	1.47	4.43	0.43	1.10
交換性カルシウム	13.3	26.3	8.4	27.7	15.7	27.0	6.5	16.3
交換性マグネシウム	2.34	3.40	0.85	3.79	3.46	5.10	1.62	3.14

注) 単位: EC: dS m^{-1} 、硝酸態窒素、熱水抽出性窒素、トルオーグリン酸は mg kg^{-1} 、交換性塩基は $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$

4) 土壌断面および土壌理化学性の実態

調査圃場の土壌は低地土と火山性土に分かれ、低地土の圃場の多くは転換畑であり、近くに水田または川が存在し、火山性土の圃場は高台に存在した。

イチゴはベッドの高さが22 cm程度の高畝で栽培されていた。畝を均平化した状態で作土の深さは平均24 cmであり、その透水係数は平均 7×10^{-2} で、透水性は良好であった。2層目、3層目の層位の深さは平均24～38 cm および 38～59 cm であり、各層の透水係数は 5×10^{-6} および 1×10^{-5} で透水性は劣り、土壌密度は22 mm および 23 mm であった。低地土の3層目は糸根状および管状の斑紋が認められ、排水性不良で多湿となりやすい層を形成していた。火山性土では3～4層目にマンガン結核が認められるものの、1 mの土層深までに排水性不良の土層は認められなかった。

‘きたえくぼ’の根は2層目までは発達が良好で、64 cmの深さまで分布が確認できたが、4層目以下では発達が不良であった。

2層目および3層目の土壌の水分状態は、火山性土では半湿であったが、低地土では湿または多湿であり、湧水面は平均83 cmであった。

5) 作物体分析結果

収穫果実の無機成分濃度を表2-10に、地上部の部位別の無機成分濃度を表2-11に示した。

先白果と正常果とで窒素濃度の差は明らかでなかったが、先白果で正常果に比較してリン、カリウムおよびマグネシウム濃度は高く、カルシウム濃度は低い傾

向であった。無機成分濃度は先白となる果実の先端部で果梗側に比較して低く、特に、先端部のカルシウム濃度は果梗側の50%以下と、他の元素に比較して部位間差が大きかった。

先白果発生指数は果実のリン濃度と正の相関関係にあった。

果実と葉身の無機成分濃度を比較すると、果実は葉身に比較してリン濃度は同程度であったが、他の無機成分濃度は低く、特にカルシウム濃度は低かった。

4. 考察

イチゴ果実の着色不良果の発生に、品種特性および栽培環境条件が関与することが判明している²⁹⁾。先白果は同一地域で栽培されている‘宝交早生’には認められず‘きたえくぼ’にのみ認められ、発生程度には圃場間差がある。ゆえに、先白果の発生に、既往の着色不良果の報告と同様に①品種特性、②栽培条件が影響すると考えられる。

先白果発生指数に土壌間差があったこと、先白果と正常果とで無機成分濃度に差があったことから、先白果の発生機作を土壌の理化学性および作物体の内部成分測定結果から検討した。

1) 土壌化学性と先白果発生との関係

先白果発生指数に、火山性土と低地土とで差が認められたことから、両土壌の理化学性の差が先白果発生に影響したと考えられた(表2-8)。

各土壌養分とも、火山性土は低地土に比較して低い

表2-10 先白果と正常果の無機成分濃度の比較

成分 部位	N (g kg ⁻¹)		P (g kg ⁻¹)		K (g kg ⁻¹)		Ca (g kg ⁻¹)		Mg (g kg ⁻¹)	
	先端部	果梗部	先端部	果梗部	先端部	果梗部	先端部	果梗部	先端部	果梗部
正常果	8.7	13	4.8	6.4	7.1	12.7	0.7	1.9	2.1	3.2
先白果	10.3	11.3	5.2	6.6	8.8	14.0	0.5	1.2	2.6	2.7
(相対値)	(118)	(87)	(108)	(103)	(124)	(110)	(71)	(63)	(124)	(84)

注) 相対値は「先白果/正常果 (%)」で示す。

表2-11 イチゴ‘きたえくぼ’の部位別無機成分濃度

部位 要素	果実		葉身	葉柄
	完熟果	未熟果		
N	9.7	13.1	24.1	7.5
P	5.4	6.5	5.5	3.7
K	9.9	10.4	12.1	17.5
Ca	1.0	2.6	7.2	6.5
Mg	2.2	3.9	5.6	4.4

注) 収穫開始期の乾物重当たりの濃度。単位: g kg⁻¹

傾向にあったため、各含量と先白果発生指数との相関を見た結果（表2-12）、0～20 cmの深さの熱水抽出性窒素含量で有意な正の相関関係がみられた。さらに、窒素施用量（有機物1 t施用を窒素1 kgの施用と換算し、有機物と肥料由来の窒素の合計施用量）150 kg-N ha⁻¹以下の圃場の先白果発生指数は2以下であった（図2-7）。

以上のことから、土壌窒素や窒素施用量が多いと先白果の発生が増えることが分かった。

2) 土壌水分と先白果発生との関係

排水不良の土層が浅い圃場ほど先白果発生指数は高かった。根が多く存在した65 cm以内に排水不良の土層が存在した低地土の圃場で先白果発生指数は2以上と高く、一方、排水不良の土層が認められなかった火山性土の圃場では先白果発生指数は低かった（図2-8）。根の発達が良好であった2層目の透水係数が小さい圃場ほど先白果発生指数は高い傾向であった（図2-9）。さらに、栽培終了時における1層目および2層目の土壌含水率と先白果発生指数とは正の相関関係にあった（図2-10）。

以上から、根の周辺の土壌水分が多い圃場では先白

果発生指数が高くなると推察された。

3) 作物体養分状況と先白果発生程度

先白果は正常果に比較してカルシウム濃度が低かった。また、カルシウム濃度は果実先端部で低い特徴があった（表2-10）。カルシウムは細胞壁の強度に影響するとされる元素である。先白果の着色不良となった果実先端部は果肉が柔らかく、かつ、腐敗が進行しやすいと言われる。このことから、先白果の着色不良部分でカルシウムが不足気味であると推測された。カルシウムは作物体内で主に蒸散流により移動し、再転流しにくい元素である。先白果発生指数が高かった圃場ほどイチゴの地上部生育は旺盛であり（表2-13）、吸収されたカルシウムは主に葉に取り込まれ、その結果、果実部でカルシウムが不足したと考えられる。全カルシウム吸収量に対する果実への配分割合が低いほど先白果発生指数は高い傾向にあることも、この推測を支持するものである（図2-11）。したがって、本調査では先白果発生の機作を明らかにできなかったが、果実部のカルシウム不足と先白発生とは関係があると推測された。

表2-12 土壌の化学性と先白果発生指数との相関関係

	土壌採取深		
	0～20cm	20～40cm	40～60cm
熱水抽出性窒素	0.35*	—	—
硝酸態窒素	0.20	0.32	0.10
トルオーグリン酸	0.01	0.06	0.07
交換性カリウム	0.23	0.12	0.12
交換性カルシウム	0.04	0.24	0.24
交換性マグネシウム	0.13	0.41*	0.06

注1) 数字は一次相関係数で、*は5%の危険率で関係が有意なことを示す。

注2) n=26

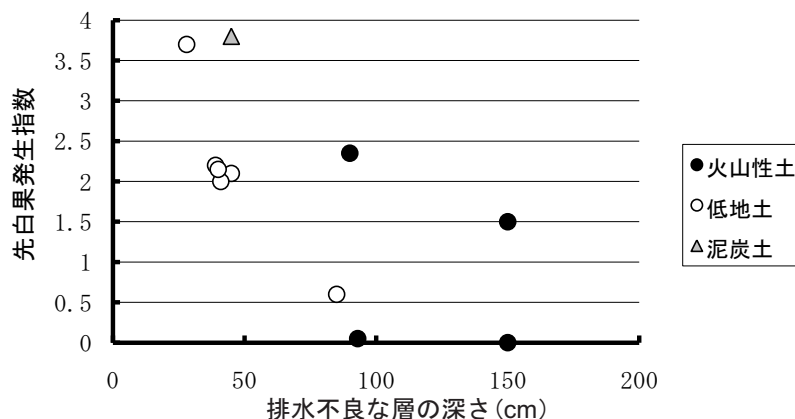


図2-8 排水不良な土層の深さと先白果発生指数との関係

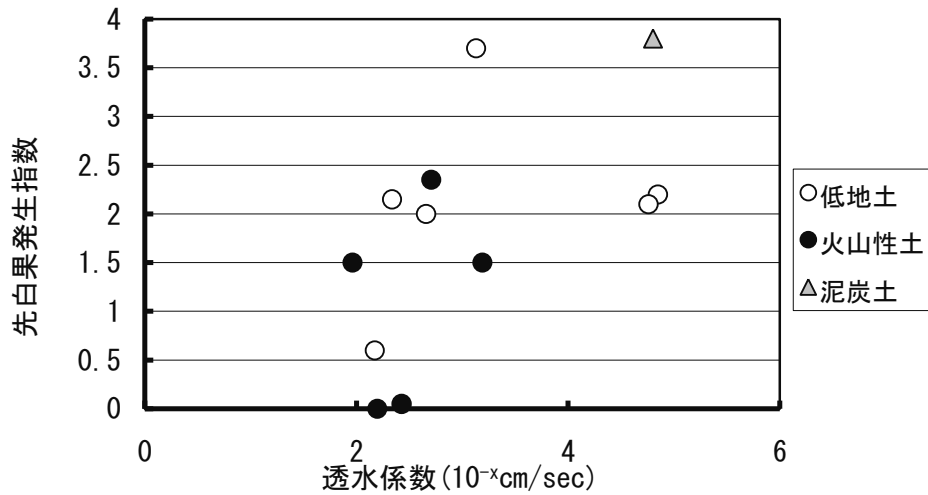


図 2-9 2層目の土層の透水係数と先白果発生指数との関係

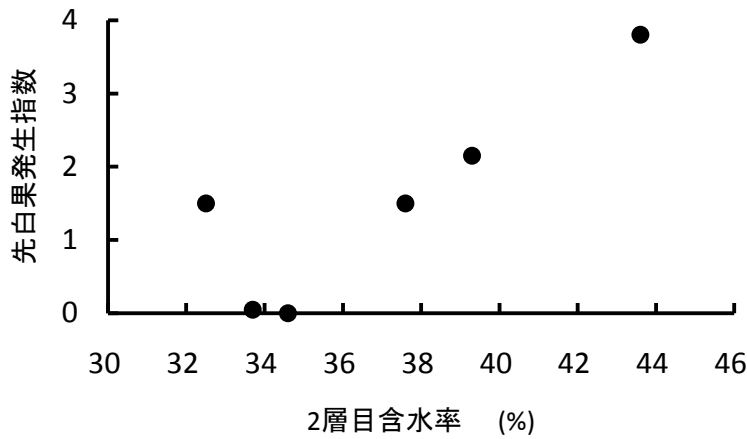


図 2-10 ‘きたえくぼ’栽培圃場の収穫期における2層目の土層の含水率と先白果発生指数との関係

表 2-13 地上部の無機成分吸収量および株重量と先白果発生指数との相関関係

項目	N	P	K	Ca	Mg	株重量
一次相関係数	0.65**	0.73**	0.74**	0.60**	0.61**	0.51*

注 1) n: 26

注 2) *は危険率 5%で, **は危険率 1%で相関が有意なことを表す。

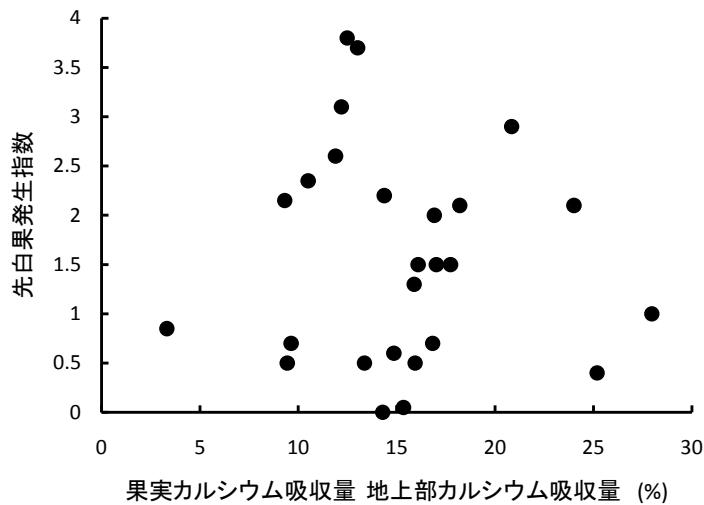


図 2-11 果実に配分されたカルシウムの割合と先白果発生指数との関係
注) 調査時期: 5月中旬

第3節 まとめ

トマトのチャック果・窓あき果、および、イチゴ品種‘きたえくぼ’の先白果はカルシウム欠乏に起因する障害果であった。発生に栽培管理法や土壌理化学性が影響し、①施肥過剰により茎葉生育が旺盛となったことによる果実へのカルシウム配分の減少、②土壌の交換性カリウムや有効態リン酸の過剰などの塩基バランスの崩れ、③圃場の排水性が劣り、根張りが浅く制限されることが共通してカルシウム欠乏の発生要因と推察された。このほか、トマトでは温度管理や灌水管管理もカルシウム欠乏発生に影響していると考えられた。

したがって、カルシウム欠乏を軽減するためには、土壌塩基バランスの改善、土壌・栄養診断に基づく適正施肥、こまめな温度・土壌水分管理とともに、圃場設置場所の選定や排水改善、根域深拡大など土壌物理性の改善など、総合的な対策が必要と考えられた。

ただし、イチゴの先白果は土壌の交換性カルシウム含量が高くても発生するなど、圃場条件により対策に軽重があると判断された。

第3章 ブロッコリーの花蕾部のカルシウム欠乏の抑止対策

花蕾腐敗病は、北海道において夏から初秋に収穫期を迎える作型のブロッコリーで発生する病害である。その発病は気象条件に大きく影響され、温暖多雨年に多発する³⁷⁾。この病害の病原細菌は、*Pseudomonas marginalis* および *Erwinia carotovora* であり³⁸⁾、寄生植物の根周辺で増殖し、雨水の飛沫とともに地上部に付着する。地上部に付着した *Pseudomonas marginalis* は、界面活性物質を分泌して花蕾表面のワックス層に障害を与え³⁹⁾、花蕾の撥水程度を低下させて水浸状とする。その後、病原細菌はセルラーゼやペクチン分解酵素を分泌し、花蕾を水浸状に腐敗させる⁴⁰⁾。

対策としては、農薬散布、雨滴による病原細菌の伝搬を防ぐための雨よけトンネル栽培⁴¹⁾⁴²⁾、品種選定⁴³⁾のほか、*Pseudomonas* 変異株をもちいた生物制御法も検討されている⁴⁴⁾。また、花蕾腐敗病の発病は、窒素分肥で抑制されることから⁴⁶⁾、肥培管理条件が体内養分の変化を通して作物体の抵抗性に影響すると推測できる。しかし、これまでに、本病の発病について体内養分との関係は明らかにされていない。

そこで、窒素用量試験と農家圃場における実態調査を行い、花蕾腐敗病の発病に及ぼす体内養分の影響を調査した。これら試験や調査により、窒素施肥量とともに、花蕾部のカルシウム濃度が発病に影響する可能性を認めた。そこで、カルシウム資材の葉面散布試験をおこない、発病に及ぼす花蕾部カルシウム濃度の影響を確認した。

第1節 窒素施肥量が花蕾腐敗病の発病に及ぼす影響

1. 試験方法

窒素用量試験を1996年に北海道立花・野菜技術センターの圃場（軽石流堆積物を客土した造成台地土、表

3-1）において、晩春まき作型と初夏まき作型の2作型を対象に実施した。

処理区は、窒素基肥量と追肥量を異にする6処理区（1区面積：21.6 m²、2反復）であった。その構成は、基肥系列として3区（①窒素半量区（70 kg-N ha⁻¹、以下1/2 N区と略記）、②窒素標準量区（140 kg-N ha⁻¹、以下N区と略記）、③窒素倍量区（280 kg-N ha⁻¹、以下2 N区と略記））、分肥系列として2区（④基肥105 kg-N ha⁻¹ + 分肥35 kg-N ha⁻¹区（以下、分肥1/4 N区と略記）、⑤基肥35 kg-N ha⁻¹ + 分肥105 kg-N ha⁻¹区（以下、分肥3/4 N区と略記））および⑥無窒素区であった。

基肥は化成肥料（S555）、硫酸アンモニウム、過磷酸石灰、硫酸カリウムを用い、リン酸140 kg-P₂O₅ ha⁻¹、カリウム50 kg-K₂O ha⁻¹は全区共通になるように調整して全層施肥した。

6月24日（晩春まき作型）と7月4日（初夏まき作型）に品種「緑嶺」を畝間60 cm、株間40 cmで定植した。

定植1月目（7月24日：晩春まき作型、8月4日：初夏まき作型）に、硫酸アンモニウムを畝間に表面施肥して分肥した。

8月13日（出蕾期直前）に、晩春まき作型の基肥系列の3区で5株ずつ抜き取り、部位別重量と養分濃度を測定した。

収穫調査は、花蕾の直径が10～15 cmとなった時（8月26日：晩春まき作型、9月30日：初夏まき作型）に行った。まず、花蕾腐敗病の発病株率を100株で調査した。その後、上部を地際から刈り取り、花蕾先端から15 cmまでの花蕾部、葉部と茎部に分け新鮮重を測定した。地上部の各種養分濃度は、常法に従い測定した²⁷⁾。生育期間中の降水量と気温はアメダスにより求めた。

表3-1 供試土壌の化学性および易効性有効水分孔隙量

作型	pH	EC	トルオーグ リン酸	交換性塩基 (cmolc kg ⁻¹)			易効性有効 水分孔隙量 (mL/L)
	(H ₂ O)	(dSm ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	Ca	K	Mg	
晩春まき	6.4	0.10	206	3.2	0.7	0.28	60
初夏まき	6.5	0.08	155	3.8	0.7	0.36	60

2. 結果

1) 花蕾腐敗病発病株率と窒素施肥法との関係

花蕾腐敗病発病への影響が大きいとされる収穫日前10日間（花蕾肥大盛期）の累積降水量と積算最低気温をみると、晩春まき作型（95 mm, 161℃）のほうが、初夏まき作型（61 mm, 81℃）より多雨で夜温が高かった（表3-2）。

表3-3に窒素施肥法が花蕾腐敗病発病株率、花蕾部の養分濃度、および、各部位生育量に及ぼす影響を示した。

晩春まき、初夏まきの両作型とも窒素増肥により発病株率は高まり、発病株率の高い区は低い区に比べて、葉部の新鮮重が大きかった。

窒素施用法間で比較すると、基肥窒素量が多い区で発病株率が高く、晩春まき作型においては総窒素施肥量が140 kg-N ha⁻¹の場合の発病株率は、N区 > 分肥1/4 N区 > 分肥3/4 N区の順に高かった。

このとき、分肥区は全量基肥のN区よりも葉重は軽い傾向にあり、花蕾の直径は小さい傾向にあったが、花蕾部新鮮重に大差はなく、花蕾部へのカルシウムの配分が増加した。

2) 花蕾腐敗病と花蕾部養分濃度との関係

発病株率と花蕾部の養分濃度の関係をみると、両作型とも発病株率の高い区が低い区よりも窒素濃度が高かった（表3-3）。しかし、作型間で比較すると、

晩春まき作型は初夏まき作型に比べて窒素濃度が高かったが発病株率に有意差はなく、花蕾部の窒素濃度のみでは発病する危険性を十分説明できなかった。

そこで、両作型で他の養分を比較すると、晩春まき作型は初夏まき作型よりリン濃度が低く、カリウム、カルシウムおよびマグネシウム濃度が高かった。また、花蕾部の窒素濃度が同じである「晩春まき作型、分肥1/4 N区（発病株率：10%）」と「初夏まき作型、2 N区（同：40%）」とで花蕾部の他の養分濃度を比較すると、前者のほうがリン濃度は0.79倍低く、カルシウムは1.88倍高く、リンとカルシウムの作型間での濃度差はカリウムの1.24倍、マグネシウムの1.15倍よりも大きかった。

リンは窒素と同様に、他の養分に比べて窒素増肥による花蕾部への集積量が多く（表3-4）、窒素増肥で花蕾部の濃度が高まった。リンと窒素は、花蕾肥大期間（8月13日から8月29日）に葉部で減少し、特に2 N区における減少率は10%と、同期間の乾物重の減少率（2.5%）より大きかった（表3-5）。このように、リンと窒素は花蕾肥大期間中に葉から花蕾に転流して集積していた。一方、カルシウムは地上部集積量に占める花蕾部への分配比率が3～8%で、窒素、リン、カリウムおよびマグネシウム（9～30%）より低い特徴があった。カルシウムは葉部への分配比率が67～77%と、他の養分（39～60%）より高く（表3-4）、窒素増肥により花蕾部の濃度は低下した。

表3-2 両作型における収穫日前10日間の累積降水量と積算最低気温

作型	収穫日前10日間	
	累積降水量(mm)	積算最低気温(℃)
晩春まき作型	95	161
初夏まき作型	61	85

表3-3 窒素施肥法が花蕾腐敗病発病株率、花蕾部の養分および各部位生育量に及ぼす影響

作 型	窒素施肥処理	発病 株率 (%)	花蕾部の養分濃度 ^{*3} (g kg ⁻¹)					Ca/N	花蕾の 直径 (cm)	花蕾部の 乾物率 (g kg ⁻¹)	新鮮重(Mg ha ⁻¹)		
			N ^{*4}	P ^{*4}	K ^{*4}	Ca ^{*4}	Mg ^{*4}				葉部	茎部	花蕾部
晩 春 ま き 作 型	-N区	0	30.1	9.7	59.5	10.6	4.1	0.4	8.1	127	11.4	0.7	3.6
	全量 1/2N区	0	34.6	10.3	59.9	10.0	4.0	0.3	8.9	117	20.7	6.0	5.0
	基肥 N区	15	48.3	12.7	55.7	7.9	4.3	0.2	9.4	113	33.2	8.2	6.5
	系列 2N区	33	54.8	13.6	59.0	7.2	4.8	0.1	10.2	105	39.2	8.5	8.2
	分施 分施1/4N区	0	42.0	11.8	64.6	9.0	4.5	0.2	9.0	109	26.9	6.0	6.4
	系列 分施3/4N区	0	45.5	11.8	64.6	8.7	4.5	0.2	8.6	116	27.7	5.8	0.8
	決定係数 ^{*1}		0.86*	0.94**	0.10	(0.89**)	0.69*	(0.89**)	0.69*	(0.86**)	0.92**	0.88**	0.41
初 夏 ま き 作 型	-N区	0	15.9	11.6	49.4	7.4	3.5	0.5	8.0	135	14.5	3.6	4.4
	全量 1/2N区	0	19.5	11.9	50.0	6.4	3.2	0.3	8.2	127	21.4	6.3	5.4
	基肥 N区	0	29.8	13.8	47.3	6.1	3.4	0.2	9.4	125	29.1	9.1	6.2
	系列 2N区	40	42.0	15.9	52.3	6.1	3.9	0.1	9.9	114	44.0	9.9	7.7
	分施 分施1/4N区	8	37.2	15.0	49.7	4.8	0.8	0.1	9.6	127	32.5	10.0	6.6
	系列 分施3/4N区	0	32.0	14.0	48.9	5.3	3.7	0.2	8.3	124	26.1	7.5	6.0
	決定係数 ^{*1}		0.91**	0.94**	0.96**	0.10	0.78*	0.30	0.88**	(0.93**)	0.99**	0.42	0.98**

^{*1} 発病株率と各項目の数値に2次回帰曲線をあてはめた場合の決定係数(r²). *は5%水準で, **は1%水準で有意であることを示し, 負の相関を示すものは()で示した.

^{*2} 作型と窒素施肥処理の2因子の分散分析をおこなった結果, 窒素施肥処理では1%水準で有意差があり(l.s.d.:5.5%), 作型では有意差がなかった.

^{*3} 花蕾部の無機成分の濃度は乾物当たりで表示した.

^{*4} 花蕾部の養分濃度は晩春まき作型と初夏まき作型とで1%水準で有意差があった.

表3-4 窒素施肥法が地上部養分量の花蕾部、葉部への分配比率に及ぼす影響

作 型	窒素施肥処理	花蕾部への養分分配比率(%) ^{*1}					葉部への養分分配比率(%) ^{*1}				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
晩 春 ま き 作 型	-N区	29.9	18.5	18.6	7.9	17.7	48.5	53.5	52.7	77.0	57.7
	全量 1/2N区	20.9	15.3	14.2	5.0	12.8	46.1	46.2	45.6	72.6	52.5
	基肥 N区	20.0	15.9	12.7	3.6	11.4	45.9	41.6	43.0	71.0	53.1
	系列 2N区	20.0	16.5	12.8	3.0	11.1	46.5	41.7	39.2	67.4	52.8
	分施 分施1/4N区	20.8	17.4	14.8	5.1	13.0	49.6	41.5	43.5	69.3	50.6
	系列 分施3/4N区	19.7	21.7	18.0	6.1	16.7	60.3	48.7	51.0	77.1	56.1
初 夏 ま き 作 型	-N区	23.6	18.5	18.1	7.3	16.5	51.6	52.3	50.6	75.5	53.5
	全量 1/2N区	19.6	15.3	14.1	5.2	12.4	44.4	45.5	45.5	69.8	48.9
	基肥 N区	19.7	14.8	12.5	4.2	11.7	47.1	43.4	43.0	68.5	47.2
	系列 2N区	16.4	14.7	11.8	3.1	9.7	48.4	43.4	43.4	70.1	49.7
	分施 分施1/4N区	17.7	15.7	12.0	3.2	12.1	51.6	45.4	44.3	71.3	48.8
	系列 分施3/4N区	18.0	16.6	12.9	4.4	9.2	59.2	52.1	51.0	76.2	54.0

^{*1} 花蕾部(葉部)への養分分配比率 = (花蕾部(葉部)の養分量) / (地上部の総養分量) × 100

表3-5 窒素施肥量を異にして栽培したブロッコリーの花蕾肥大期間中における部位別の乾物重と養分集積量の増加量と増加率

N施肥量 (kg ha ⁻¹)	乾物重(kg ha ⁻¹)			N集積量(kg ha ⁻¹)			P集積量(kg ha ⁻¹)			K集積量(kg ha ⁻¹)			Ca集積量(kg ha ⁻¹)			Mg集積量(kg ha ⁻¹)		
	70	140	280	70	140	280	70	140	280	70	140	280	70	140	280	70	140	280
花蕾肥大期間中の増加量* ¹																		
葉部	515	117	-103	-11.1	-15.1	-17.7	-1.4	-1.0	-2.2	13.7	31.4	29.2	18.7	13.5	10.2	0.3	1.0	-0.1
茎部	154	119	99	2.8	5.7	6.0	1.6	2.1	1.8	28.0	27.9	29.1	3.3	3.5	3.4	0.7	0.9	1.1
花蕾部	581	735	858	20.1	35.5	47.0	2.6	4.1	5.1	28.9	34.0	42.4	5.8	5.8	8.8	1.4	1.9	2.5
花蕾肥大期間中の各部位における養分集積量の増加率* ²																		
部位 葉部	121	103	97	85	89	90	89	94	89	112	123	120	128	110	106	104	109	99
茎部	135	122	120	131	144	147	174	173	176	232	175	186	209	174	163	170	156	163
窒素増肥による花蕾部における養分集積量の増加率* ³																		
花蕾部				100	176	234	100	156	195	100	117	147	100	100	152	100	136	177

*¹「8月26日の測定値」－「8月13日の測定値」*²「8月26日の測定値」／「8月13日の測定値」×100*³ N施肥量70kg ha⁻¹の測定値（8月26日）を100とした相対値。

3. 考察

ブロッコリーの花蕾腐敗病は、多雨・高夜温条件で発病しやすい³⁸⁾。また、窒素増肥により発病しやすい⁴³⁾ことは、本試験でも確認された。ただし、晩春まき作型のほうが初夏まき作型よりも多雨で夜温が高く（表3-2）、かつ、花蕾部の窒素濃度が高かったにも関わらず、発病株率に作型間で有意差がなかった。したがって、発病程度に気象条件や窒素濃度以外の要因が影響していると推定された。

そこで、花蕾部の窒素以外の養分濃度と発病株率との関係を検討した。その結果、晩春まき作型は初夏まき作型よりリン濃度が低く、カリウム、カルシウムおよびマグネシウム濃度が高かった（表3-3）。また、花蕾部の窒素濃度が同じである「晩春まき作型、分肥1/4 N区（発病株率：10%）」は「初夏まき作型、2 N区（同：40%）」に比べて花蕾部のリン濃度が低く（0.79倍）、カルシウムは高い（1.88倍）特徴があった。したがって、花蕾腐敗病に花蕾部のリン濃度の増加、または、カルシウム濃度の低下が影響している可能性を認めた。

本試験で花蕾に集積したリンの一部は、導管経由により集積するほか、窒素とともに葉から篩管を經由して花蕾に転流していることが分かった（表3-5）。一方、カルシウムは導管内を主に蒸散流により移動し葉に集積するが、葉から転流しない。このため、窒素増肥により葉が生長すると葉への集積率が増えて花蕾への配分が少なくなり、花蕾における窒素に対する相対濃度は低下する。なお、窒素の分肥により葉の生育が抑えられれば、カルシウムの花蕾への配分が増える可能性がある。

カルシウムはペクチンの重合を介して細胞壁の強度を向上する。さらにカルシウムは細胞壁分解酵素活性の阻害、病害感染時の情報伝達、潜在感染状態での菌の増殖抑制タンパク質の発現など、生化学的抵抗性に影響する養分である。花蕾腐敗病の病原細菌はセルラーゼやペクチン分解酵素を分泌するため、カルシウム濃度の低下で細胞壁強度が低下すると病原細菌に対する抵抗性が低下する可能性が考えられた⁴⁶⁾。また、カルシウム施用で花蕾表面のワックス形成が促進されれば、病原菌を含む雨水の飛沫の附着が軽減される可能性がある。

第2節 花蕾腐敗病発病株率の圃場間差とカルシウム資材の散布効果

1. 試験方法

1999年に3農家圃場（A～C圃場：江別市，表3-6）でカルシウム資材の葉面散布試験を行った。A圃場は細粒質の普通褐色低地土，B圃場は細粒質の普通灰色低地土，C圃場は中粒質の腐植質灰色低地土であった。各圃場とも表層から45 cm以下に泥炭層が認められた。

A，B圃場では6月7日に，C圃場では6月9日にブロッコリー，品種：‘緑嶺’を畝間60 cm，株間35 cmで定植した。各圃場の施肥量は，窒素が基肥90 kg-N ha⁻¹，追肥50 kg-N ha⁻¹，リンは基肥で140 kg-P₂O₅ ha⁻¹，カリウムは基肥で50 kg-K₂O ha⁻¹とした。供試肥料は第1節と同様とした。

この圃場の一部において，花蕾肥大始期から出蕾始期前後に，A圃場では3回，B，C圃場では2回，花蕾部を中心にカルシウム資材（有機キレートカルシウム，カルシウム濃度200 mg-Ca L⁻¹）を1回あたり0.36 L m⁻²葉面散布した区を設けた。この処理区の1区面積は8.4 m²であり，3反復で試験を行った。8月10日に，60株を調査し発病株率を求めた。生育量の調査，分析試料の調製法と地上部の養分濃度の測定方法は第1節と同様とした。

2. 結果

発病株率とカルシウム資材散布による花蕾部窒素・カルシウム濃度の変化を表3-7に示した。

収穫期に調査した発病株率はC圃場>B圃場，A圃場の順に高かったが，A圃場とC圃場はカルシウムの葉面散布により花蕾部のカルシウム濃度が高まり，各圃場ともカルシウムの葉面散布により発病株率が低下した。

発病株率が最も低かったA圃場では，花蕾部の窒素

濃度は最も低く，カルシウム濃度は最も高かった。

圃場の物理性を見ると，作土深はC圃場，B圃場，A圃場の順に浅く，同順に2層目のち密度は高く，3層目の透水係数は小さく排水性は不良であった。このように，発病株率が高かったC圃場は物理性が最も劣った。

土壌化学性をみるとA圃場の交換性カルシウム含量は9.1 cmol_c kg⁻¹と，B，C圃場より多かった。土壌有効態リン酸含量は202～281 mg-P₂O₅ kg⁻¹と，土壌診断基準値内であった。

3. 考察

花蕾部にカルシウム資材を散布することで，花蕾部のカルシウム濃度が上昇し，花蕾腐敗病の発病株率が低下した。このことから，花蕾腐敗病の発病は花蕾部の窒素濃度に加え，カルシウム濃度が影響していることが確かめられた。

この結果を基に，第1節の結果を考察すると，窒素増肥は葉の生長と，葉へのカルシウム集積率を高めて花蕾部のカルシウム濃度を低下させ発病株率を高めたと解釈できる。また，1996年晩春まき作型の窒素分肥区において発病株率が低かった原因は，葉の生育抑制に伴い花蕾へのカルシウムの集積が増加したことが一因と推定された。今までにも，花蕾腐敗病は窒素減肥や分肥で軽減できることは報告されていたが¹⁾，本試験により，その素因としてカルシウムの体内分布と花蕾部での濃度が関与することを明らかにできた。

なお，リン過剰害の一つにカルシウム欠乏が報告されているが^{47)～49) 16)}，供試土壌の有効態リン酸含量は土壌診断基準値内であり，リン過剰害が発生する水準(1800 mg-P₂O₅ kg⁻¹以上)^{16) 50)～53)}より明らかに低い。したがって，花蕾腐敗病に及ぼす花蕾部のリン濃度の影響は小さいと考えられる。

表3-6 カルシウム資材の葉面散布試験を行った現地圃場の土壌化学性

区別	作土 深 (cm)	有効 水分 (mL/100mL)	2層目		透水係数(cm/sec)		pH (H ₂ O)	EC (dSm ⁻¹)	トルオーグ リン酸 (mg kg ⁻¹)	交換性塩基 (cmol _c kg ⁻¹)		
			ち密度 (mm)	土性	2層目	3層目				Ca	K	Mg
圃場A	25	2	12	SiCL	2×10 ⁻³	1×10 ⁻²	5.5	0.19	221	9.1	1.5	0.23
圃場B	18	4	15	SiCL	2×10 ⁻⁵	6×10 ⁻⁶	5.2	0.08	202	4.2	1.4	0.26
圃場C	15	17	20	L	3×10 ⁻³	4×10 ⁻⁷	5.7	0.12	281	8.4	1.6	0.17

表3-7 ブロッコリーの花蕾腐敗病発病株率の圃場間差とカルシウム資材散布の効果^{*1}

処理 圃場	発病株率 ^{*2} (%)			花蕾部の無機成分の濃度(g kg ⁻¹)						濃度比 Ca/N		
				N			Ca ^{*3}			Ca/N		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
葉面散布区	0	10	45	48.9	50.5	53.6	6.3	3.0	5.4	0.13	0.07	0.10
無散布区	15	20	50	49.8	50.5	52.4	5.6	3.4	4.4	0.11	0.07	0.08

^{*1} 有機キレートカルシウムを花蕾部を中心に花蕾肥大始期から出穂始期前後に散布した。

^{*2} 発病株率については圃場と散布処理の2因子の分散分析をおこなった結果、圃場間では1%水準で(l.s.d.: 14.9)、散布処理については5%水準で(l.s.d.: 9.9)有意差があった。

^{*3} 葉面散布区と無散布区のカルシウム濃度は5%水準で有意差があった。

以上の結果から、花蕾部の窒素とカルシウム濃度が発病に影響すると判断した。そこで、第1節、第2節の結果について、花蕾部のカルシウム濃度、窒素濃度と発病株率の関係を図3-1に示した。プロットを窒素濃度、カルシウム濃度の平均値で4区画に分けると、発病株率は高窒素・低カルシウム区画>高窒素・高カルシウム区画>低窒素・低カルシウム濃度の順であり、低窒素・高カルシウムの区画では発病が認められなかった。

このように、発病株率は花蕾部の窒素濃度、カルシウム濃度のバランスで変化している可能性が認められたため、両者の比(Ca/N比)と発病株率との関係を図3-2に示した。その結果、Ca/N比が高いほど発病株率は低く、両者の関係は作型、場所によらずほぼ同様の傾向を示した。花蕾部のCa/N比が0.2以上では発病株率は10%以下であり、Ca/N比が0.3以上では発病は認められなかった。Ca/N比が0.2以下でも発病していない区も認められたが、窒素やカルシウム濃度以外の要因、たとえば降雨や最低気温(夜温)の影響と考えられる。以上のことから、花蕾部のCa/N比は、花蕾腐敗病発病の危険性を表す作物体の一指標となると考えられた。

次に、花蕾部のカルシウム濃度に影響する要因を検討した。

花蕾のカルシウム濃度が高かったA圃場の土壌は、交換性カルシウム含量が高い傾向にあり、作土深が深く、2層目が膨軟で、かつ、下層土の透排水性が良好であった。このように、土壌物理性が土壌化学性と相まってカルシウム欠乏に影響を及ぼしていたと考えられた。このことは、トマトやイチゴのカルシウム欠乏要因(第2章)と同様であり、土壌物理性を良好にすることは花蕾のカルシウム濃度を高め、花蕾腐敗病を抑制する上で必要と考えられた。

なお、発病に影響する窒素は葉からの転流によっても花蕾に集積する。一方、カルシウムが導管經由で花

蕾に集積する。花蕾部のCa/N比は、導管および篩管内の養分濃度の他に、各液の流量バランスによっても変化すると考えられる⁵⁴⁾。導管流量は干ばつ時に減少し⁵⁵⁾、作土深が浅いと水分ストレスを受けやすい。したがって、花蕾腐敗病を抑止するためには、窒素やカルシウムの養分濃度とともに、水供給量の面からの検討も重要と考えられた。

第3節 まとめ

ブロッコリーの花蕾腐敗病の発病は花蕾部の窒素濃度に加え、カルシウム濃度が影響していることを確かめた。発病株率は花蕾部の窒素濃度、カルシウム濃度のバランス(Ca/N比)で変化していた。花蕾部のCa/N比は、花蕾腐敗病発病に罹病する危険性を表す作物体の一指標となると判断された。花蕾部のCa/N比が0.2以上では発病株率は10%以下で、Ca/N比が0.3以上では発病は認められなかった。

花蕾のカルシウム濃度を高めて発病を抑止するには、窒素施肥量の適正化、交換性カルシウム含量を高めること、作土を深く膨軟にし、下層土の透排水性を良好にすることが重要と考えられた。このことは、トマトやイチゴにおけるカルシウム欠乏の場合と同様であった。

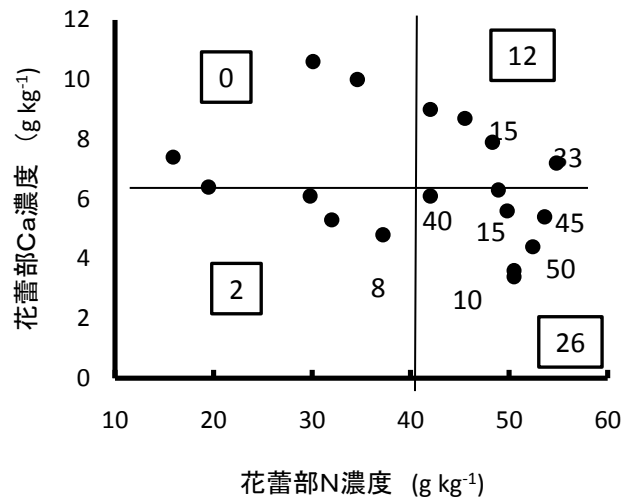


図 3-1 花蕾部の窒素濃度およびカルシウム濃度と花蕾腐敗病発病株率との関係
 注 1) 図中数字は発病株率を示す。表示がないプロットは発病株率0を表す。
 注 2) グラフを窒素濃度、カルシウム濃度の平均値で4区画に分け、各区画の発病株率の平均値を枠線で囲った数値で示した。

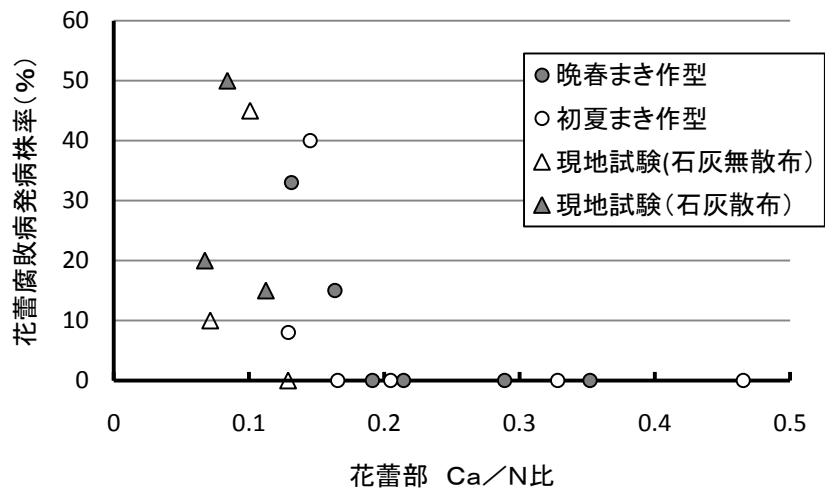


図 3-2 ブロッコリーの花蕾部のCa濃度とN濃度の比(Ca/N比)と花蕾腐敗病発病株率との関係

第4章 ブロッコリーの花蕾部カルシウム栄養状態の改善対策

本章では、ブロッコリーの花蕾部を対象に、そのカルシウム栄養状態の改善方法を検討した。

まず、カルシウム栄養状態を改善するために、土壌物理性、なかでも根域深拡大の効果を検討した。そして、北海道内の主要なブロッコリー産地に広く分布する低地土（水田転換畑が主体）や火山性土を想定して、保水量が異なる2土壌を用いた枠試験を行い、目標とする根域深の設定を試みた。

また、石灰資材の土壌施用が花蕾のカルシウム栄養状態に及ぼす影響についても検討した。

さらに、第3章第1節の結果から、花蕾部のカルシウム濃度を高めるには、窒素供給量の適正化も重要である。ただし、窒素供給量は花蕾のカルシウム濃度を介して花蕾腐敗病の発病に影響すると共に、商品としての花蕾の外観品質を整える上でも重要である。ブロッコリーでは、花蕾径がM～Lサイズ以上で、かつ、花蕾表面は凹凸が少なくなめらかであることも求められる。そこで、外観品質に優れ、かつ、花蕾部のカルシウム栄養状態にも優れる花蕾を得るために必要な窒素供給量を検討した。

花蕾の外観品質を高めるために生産現場では茎葉が畝間を覆う前（定植約1月目）に窒素追肥をしている例が多い。ただし、追肥の要否判定基準がないため、必要以上に追肥をしている圃場も認められる。過剰な窒素追肥は花蕾部のカルシウム濃度を低下させる危険性があるため、追肥の要否判断基準の策定を試みた。

このように、窒素供給量や、追肥の要否判定基準を設定することで、窒素施用量の面からも花蕾部のカルシウム栄養状態の改善対策を行おうとした。

準）がブロッコリー花蕾部のカルシウム濃度やCa/N比に及ぼす影響を、易効性有効水分孔隙量が異なる2土壌（褐色森林土表土：以下褐色森林土と略記；7.1 mL/100 mL、多腐植質黒ボク土表土：以下黒ボク土と略記；11 mL/100 mL）を用い調査した（表4-1）。各土壌を厚さが30 cmとなるように枠に詰め、根域深は遮根シートにより15 cm、30 cmに調整した。各枠に4週間育苗した‘緑嶺’を4株定植し（6月26日）、出蕾始期（8月21日）までは無被覆で、それ以後は降雨があたらないように雨よけトンネルを設置して栽培した。8月21日以後、灌水処理を加えた。灌水処理は少灌水区（5 L/回）、多灌水区（10 L/回）の2段階とし、灌水は8月24日、27日、30日と9月2日にジョウロを用いて株元に行った。なお、各枠の底面には暗渠が設置されており、下層には排水性に富む褐色森林土下層土が詰められており、枠の排水性は良好であった。

9月上旬に、花蕾直径が約10 cmに達した株から順次収穫した。生育調査、分析試料の調製と地上部の養分濃度の測定は第3章第1節に準じて行った。

2. 結果

本試験で花蕾腐敗病は発病しなかった。

土壌の種類、根域深、灌水量がブロッコリーの生育量、養分濃度や養分吸収量に及ぼす影響を表4-2に、試験期間中の日平均降水量および灌水量と推定蒸発散量を表4-3に示した。

定植から雨よけトンネルを設けるまでの積算降水量は445 mmでブロッコリーの要水量より多かった。ただし、旬別の日平均降水量は、7月中・下旬は12～16 mmと多かったものの、8月上・中旬は3 mm程度と少なく、灌水処理は1～3 mm/日と限られており、8月上旬以後の灌水を含めた日平均降水量は、日平均蒸発散推定値（3.8～4.0 mm）以下であった（表4-3）。ただし、この期間に葉はしおれず、収穫までに花蕾腐

第1節 根域拡大や灌水による改善

1. 試験方法

2000年に、北海道立 花・野菜技術センター枠圃場（1 m²/枠）において根域深（2水準）、灌水量（2水

表4-1 供試土壌の理化学性

土壌	pH (H ₂ O)	交換性塩基 (cmol _c kg ⁻¹)			易効性有効水分孔隙量 (mL/100mL)
		K	Ca	Mg	
黒ボク土表土	5.8	0.50	3.38	1.08	7
褐色森林土表土	5.6	0.40	3.16	0.85	11

敗病は発生しなかった。

地上部生育量や窒素・カルシウムの吸収量は黒ボク土で褐色森林土より多かった。

地上部乾物重に及ぼす灌水処理の影響は土壌により異なり、易効性有効水分孔隙量が少ない褐色森林土においては多灌水区のほうが地上部乾物重は多い傾向にあったが、黒ボク土においては灌水処理が生育に及ぼす影響は明らかでなかった。

養分吸収量に及ぼす灌水処理の影響をみると、窒素吸収量は灌水の影響を受けなかった。カルシウム吸収量は黒ボク土においては灌水処理の影響を受けなかったものの、褐色森林土においては多灌水区のほうが多かった。褐色森林土において灌水処理により増加したカルシウム吸収量に占める花蕾部での増加量の割合を根域深で比較すると、根域が深い区の方がより花蕾部に集積していた。

花蕾部の養分濃度に及ぼす灌水の影響を見ると、窒素濃度は黒ボク土の方が高く、灌水の影響を受けなかった。一方、カルシウム濃度は褐色森林土の方が高く、灌水により褐色森林土において高まる傾向にあったが、

黒ボク土においては灌水の影響は認められなかった。その結果、花蕾の Ca/N 比は褐色森林土で黒ボク土より高く、灌水により高まる傾向にあり、灌水の影響は褐色森林土で大きかった。

次に根域深の影響を見ると、地上部乾物重はいずれの土壌とも根域が深い区のほうが多く、特に、黒ボク土において根域深の影響は大きく、根域深の拡大により主に葉部重が増加した。

地上部の窒素やカルシウムの吸収量は生育量を反映し、黒ボク土で褐色森林土より多く、また、いずれの土壌も根域が深い区のほうが多かった。なかでも、黒ボク土では根域が深い区では窒素吸収量は施肥量以上 (16 kg ha^{-1} 以上) を吸収していた。根域深拡大により増加した養分は大半が茎葉に集積し、増加吸収量に占める花蕾に集積した割合は 25% 以下と少なく (表 4-4)、特に、黒ボク土は 11% 以下と褐色森林土より少なく、なかでもカルシウムは 1% 以下と極わずかしかな花蕾に配分されていなかった。

根域深拡大が花蕾部の Ca/N 比に及ぼす影響は土壌で異なり、褐色森林土では根域深拡大により高まる傾

表 4-2 根域深と灌水がブロッコリーの生育と養分濃度、養分吸収量に及ぼす影響

土壌	灌水	根域深	乾物重 (g m ⁻²)				N濃度 (g kg ⁻¹)			Ca濃度 (g kg ⁻¹)			花蕾	N吸収量 (g m ⁻²)				Ca吸収量 (g m ⁻²)				
	処理	(cm)	葉部	茎部	花蕾部	総重	葉部	茎部	花蕾部	葉部	茎部	花蕾Ca	Ca/N比	葉部	茎部	花蕾部	総吸収量	葉部	茎部	花蕾部	総吸収量	
褐色 森林土	少	15	64.6	27.5	17.4	109.5	14.1	11.0	25.0	23.0	6.5	6.4	0.25	3.6	1.2	1.7	6.6	5.9	0.72	0.44	7.1	
		30	68.5	29.4	20.8	118.7	19.2	12.0	25.9	32.0	7.3	7.0	0.27	5.3	1.4	2.2	8.8	8.8	0.86	0.58	10.2	
	多	15	78.3	26.4	18.0	122.6	15.3	12.0	23.2	24.0	7.0	6.7	0.29	4.7	1.3	1.7	7.6	7.5	0.74	0.48	8.7	
		30	83.6	30.4	21.8	135.8	18.6	14.0	26.0	32.0	9.4	8.3	0.32	6.0	1.7	2.3	10.0	10.7	1.14	0.72	12.6	
黒ボク土	少	15	84.4	36.0	25.3	145.6	18.9	14.0	28.7	34.0	7.7	6.6	0.23	6.4	2.0	2.9	11.3	11.5	1.11	0.67	13.3	
		30	122.2	35.5	24.3	182.0	22.2	18.0	31.7	30.0	6.9	5.9	0.19	10.8	2.6	3.1	16.4	14.7	0.98	0.57	16.2	
	多	15	90.8	29.1	22.4	142.2	21.1	14.0	25.7	33.0	7.1	6.3	0.25	7.2	1.6	2.3	11.2	12.0	0.83	0.57	13.4	
		30	140.9	39.7	25.4	206.0	19.9	17.0	29.4	30.0	6.8	5.8	0.20	11.8	2.7	3.0	17.5	14.1	1.08	0.59	15.8	
処理間差	土壌		**	**	**	**	*	**	*	**	*	*	*	**	**	**	**	*				**
	灌水処理		*					**						**							*	
	根域深		**	*	*	*		**	*	**	*	*	*	**	*	*	**	*				**
	土壌×灌水処理							**		**											*	
	土壌×根域深		**			*		**		**	*	*	*	**			*				*	

表 4-3 枠試験圃場における日平均降水量および灌水量と推定蒸発散量 (mm)

月	旬	日平均降水・灌水量 (mm)		K _c 作物係数	ET ₀ 蒸発散位	推定蒸発散量
		少灌水区	多灌水区			
6月	下旬		6.6	0.7	4.5	3.1
	上旬		5.7	0.7	3.1	2.1
7月	中旬		11.5	0.7	3.8	2.7
	下旬		16.1	0.9	2.7	2.4
8月	上旬		2.6	1.1	3.7	3.8
	中旬		3.4	1.1	3.8	4.0
	下旬		1.4	3.0	3.9	3.8
9月	上旬		1.7	3.3	5.9	5.6
総降水量*		445	(465)	445	(485)	

*: 8月21日までの総降水量。() 内は9月2日までの灌水量と総降水量の和。

表4-4 根域深拡大により増加した養分吸収量の各部位への配分比率

土壌	灌水 処理	根域深の拡大により増加した養分吸収に占める各部位への配分割合 ^{*1}					
		N			Ca		
		葉	茎	花蕾	葉	茎	花蕾
褐色	少	72.9	8.8	18.3	91.1	4.6	4.3
森林土	多	56.0	18.6	25.4	83.0	10.6	6.4
黒ボク土	少	85.7	10.7	3.6	100 ^{*2}	0 ^{*3}	0 ^{*4}
	多	72.4	16.9	10.7	88.5	10.7	0.8

*1: (根域深30cmの各部位養分吸収量 - 根域深15cmの各部位養分吸収量) / (根域深30cmの総養分吸収量 - 根域深15cmの総養分吸収量) × 100 (%)

*2: 計算値では107.7%

*3: 計算値では-4.3%

*4: 計算値では-3.4%

向を示したが、黒ボク土では低下する傾向にあった。褐色森林土では根域拡大に加え多灌水とすることでCa/N比はいっそう高まった。

3. 考察

花蕾部のカルシウム栄養状態に対する根域深と花蕾肥大期の灌水の影響を、易効性有効水分孔隙量が異なる2土壌を用いて検討した。

その結果、易効性有効水分孔隙量が少ない褐色森林土では灌水により生育が増加し、一方、黒ボク土では根域深によらず灌水量は生育量に影響しなかった。したがって、褐色森林土では水不足の状態、黒ボク土は水が充足した状態であったと考えられた。

このように水不足の程度が異なった2種類の土壌でカルシウムや窒素の吸収に及ぼす灌水の影響を比較すると、カルシウム吸収量は褐色森林土では多灌水区の方が多かったが、黒ボク土では灌水量の影響が認められなかった。一方、窒素吸収量は両土壌とも灌水量の影響を受けなかった。このように、カルシウム吸収は窒素吸収よりも吸水量の影響を受けやすいことが分かった。以上から、カルシウム吸収量を増やすためには、易効性有効水分孔隙量が少ない土壌では灌水や根域深

の拡大⁵⁶⁾により吸水量を確保することが重要であることが分かった。

次に、根域深拡大が花蕾部のカルシウムや窒素濃度に及ぼす影響を見ると、黒ボク土では花蕾のカルシウム濃度は低下し、一方、褐色森林土では花蕾のカルシウム濃度が高まった。

黒ボク土では、土壌窒素含量が多いため、根域拡大により窒素吸収量が増えてカルシウム濃度が低下したと考えられる。

一方、褐色森林土では、土壌窒素含量が少ないため、根域深の拡大による葉の生育増加程度が小さく、根域拡大によりカルシウムのほうが窒素より吸収量が増え、その結果、花蕾のカルシウム濃度が高まったと考えられた。

以上から、保水量や窒素含量などの理化学性が異なる土壌では花蕾のカルシウム栄養状態を高めるための望ましい根域深は異なり、易効性有効水分孔隙量が少なく窒素含量が少ない土壌では根域深の拡大や灌水が、一方、易効性有効水分孔隙量が多く窒素含量が多い土壌では根域を深くしすぎないことが、花蕾のカルシウム濃度を高める上で望ましいことが分かった。

第2節 目標根域深の設定

1. 試験方法

前節において、花蕾のカルシウム濃度に根域深が影響することが分かった。本節では、花蕾部の Ca/N 比と根域深、易効性有効水分量との関係を検討し、既往の知見とあわせて目標とする根域深を設定した。

1999 年から 2000 年に石狩支庁管内野幌地区(11 筆)と同石狩地区(3 筆)の低地土圃場計 14 筆において行った実態調査の結果を用いた。

供試品種は各圃場とも‘緑嶺’であった。作物体の分析サンプルの採取・調整は第3章第1節に準じて行った。

分析サンプル採取地点において作土深の測定と、採土管サンプル(100 mL)を採取し、易効性有効水分孔隙量を測定した。なお、主要根群域は作土深にあったことから作土深を根域深とし、「根域深(cm)×易効性有効水分孔隙量(mL/100 mL)/10(単位:mm)」を根域内の易効性有効水分量とした。

2. 結果

調査結果を表4-5にまとめた。

調査圃場の平均根域深は平均 18 cm(14 ~ 25 cm)と浅く、現地圃場 14 筆中 8 筆で根域深は 20 cm に満たなかった。圃場の易効性有効水分孔隙量は 2.1 ~ 8 mL/100 mL(平均 5 mL/100 mL)と少なく、根域内の易効性有効水分量は平均 9.5 mm(5.3 ~ 13.6 mm)であった。

花蕾の Ca/N 比は根域内の易効性有効水分量と正の相関関係にあり(図4-3)、Ca/N 比は 0.2 を得るのに必要な根域内の易効性有効水分量は約 20 mm 以上と推定された。

3. 考察

花蕾部の Ca/N 比が 0.2 以上(花蕾腐敗病発病株率: 10%以下)となる根域内の易効性有効水分量は 20 mm 以上と推定された。道内の土壌の易効性有効水分量は、0 ~ 30 cm 深で平均 10 cm 当たり、台地土や低地土は 7 ~ 9 mm であり、火山性土や泥炭土の 14 ~ 15 mm である⁵⁷⁾。したがって、火山性土や泥炭土では根域深が 15 cm 程度あれば 20 mm 以上の易効性有効水分量を確保できるが、台地土や低地土では 20 ~ 30 cm 程度の根域深が必要と判断される。

実態調査例数は 14 筆と少ないが、道央転換畑における約 6 割の圃場(8 筆)は根域深が 20 cm 未満と浅かった。したがって、これら圃場では土壌や土地の改良による根域深の拡大や易効性有効水分孔隙量の増加が重要と判断された。一方、具体的データは示さないが、十勝の窒素含量が高い(収穫時の硝酸態窒素含量: 80 mg kg⁻¹)火山性土圃場の中には、根域深を 15 cm 程度に人為的に制限することで、花蕾重を確保しつつ窒素吸収を抑えて花蕾腐敗病を抑止する篤農家も認められた。窒素含量が高く保水力が大きい火山性土では根域深を制限することも花蕾腐敗病の発生を軽減するためには有効な一手法と考えられた。

表4-5 道央地域のブロッコリー栽培圃場の根域深、易有効水分量および花蕾部窒素・カルシウム濃度の実態調査結果

調査年	土壌型	根域深 (cm)	易有効水分率 (mL/100mL)	根域内の 易有効水分 量 (mm)	花蕾部の無機成分濃度 (g kg ⁻¹)		花蕾部の 濃度比 Ca/N比
					N	Ca	
1999	低地土	25	2.1	5.3	49.8	3.6	0.06
	低地土	18	4.3	7.7	50.5	3.4	0.05
	低地土	14	8.0	11.2	52.4	4.4	0.12
2000	未熟土	15	3.9	5.9	37.3	3.2	0.086
	未熟土	22	5.9	13.0	33.3	3.9	0.116
	未熟土	16	4.2	6.7	56.9	2.4	0.042
	低地土	20	6.3	12.6	41.7	4.3	0.103
	低地土	22	4.8	10.6	51.3	3.9	0.076
	低地土	19	4.9	9.3	51.4	4.4	0.085
	低地土	16	5.3	8.5	46.6	5.2	0.112
	低地土	20	6.8	13.6	31.6	5.5	0.173
	低地土	17	5.4	9.2	40.7	4.8	0.119
	低地土	16	4.6	7.4	47.0	3.8	0.081
	低地土	25	4.8	12.0	39.6	5.2	0.132

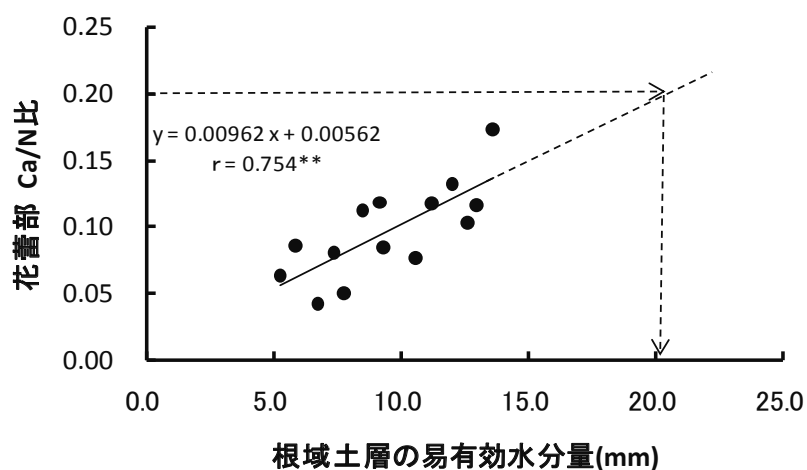


図4-3 根域内の易有効水分量と花蕾部Ca/N比の関係

注) 根域内の易有効水分量：根域深 (cm)×易有効水分孔隙量 (mL/100mL) /10

第3節 カルシウム資材施用による改善

1. 試験方法

2000年に、第1節の供試圃場に隣接する柰圃場で炭酸カルシウム施用がブロッコリー花蕾のカルシウム濃度やCa/N比に及ぼす影響を調査した。供試土壌は黒ボク土と褐色森林土(表4-1)で、交換性カルシウム含量は $6.3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ を目標に炭酸カルシウムを施用した石灰施用区と無施用区を設けた。炭酸カルシウム施用量は褐色森林土では 287 g m^{-2} 、多腐植質黒ボク土では 309 g m^{-2} であり、根域深(30 cm)全層に混和し、その後、肥料を北海道施肥標準に従い表層15 cmに全層混和した。各処理区で第1節と同様に少灌水と多灌水区を設けた。

2. 結果

炭酸カルシウムの施用がブロッコリーの生育と養分濃度、養分吸収量に及ぼす影響を表4-6に示した。

試験期間中に、花蕾腐敗病は発病しなかった。

カルシウム総吸収量は、黒ボク土のほうが褐色森林土より多く、炭酸カルシウム施用により黒ボク土では増加する傾向にあったものの、褐色森林土では影響がなかった(表4-6)。

作物体のカルシウム濃度は、黒ボク土においては炭酸カルシウム施用により葉や茎で高まる傾向にあったが、灌水の効果は明らかでなかった。一方、褐色森林土においては炭酸カルシウム施用がカルシウム濃度に及ぼす影響は明らでなかったが、灌水量を増やすことにより高まった。なお、各区とも吸収されたカルシウムの約9割は葉部に集積されていた。

窒素濃度に炭酸カルシウム施用は影響しなかった。花蕾のCa/N比は、0.18～0.37と高く、炭酸カルシウム施用の影響は明らかでなかった。

3. 考察

第1節において根域深の拡大により花蕾のカルシウム濃度を高められなかった黒ボク土は、炭酸カルシウムの施用によっても花蕾部のカルシウム濃度やCa/N比を高めることはできなかった。この原因は炭酸カルシウムの施用によりカルシウム吸収量は増えたものの、その多くは葉部に集積したためと考えられた。炭酸カルシウムの施用試験は根域深が30 cmと深い条件で行ったため、葉の生育が多くなり、カルシウムが葉に集積したと考えられる。したがって窒素吸収量を抑えて葉部の生育を適度にすれば花蕾部にもカルシウムが集積した可能性はある。

褐色森林土においても炭酸カルシウムの施用効果を検討したが、同土壌においてもカルシウム吸収の増加効果はなかった。ただし、カルシウム吸収量は灌水量の増加で増えた。したがって、褐色森林土においてカルシウム吸収量はカルシウム供給量よりも吸水量の影響が大きいことが分かった。

以上のことから、花蕾部のカルシウム濃度は炭酸カルシウム施用で高められると考えられたが、まず、カルシウムが吸収されるように水供給を確保できる土壌環境を整えること、次に葉部にカルシウムが集積し過ぎないように窒素吸収量を適正にすることが重要と考えられた。このように、花蕾のカルシウム濃度を高める上で、水供給の確保や窒素吸収量の適正化はカルシウム供給量の多少よりも重要であると判断された。

表4-6 炭酸カルシウムの施用と灌水がブロッコリーの生育と養分濃度、養分吸収量に及ぼす影響

土壌	石灰 処理	灌水 処理	乾物重(g m^{-2})			N濃度(g kg^{-1})			Ca濃度(g kg^{-1})			花蕾 Ca/N比	N吸収量(g m^{-2})				Ca吸収量(g m^{-2})			
			葉部	茎部	花蕾部	葉部	茎部	花蕾部	葉部	茎部	花蕾部		葉部	茎部	花蕾部	花蕾部総吸収量	葉部	茎部	花蕾部	花蕾部総吸収量
褐色森林土	無施用	少	66.8	22.6	17.4	19.0	12.0	25.3	32.0	7.3	6.7	0.27	5.1	1.1	1.7	7.9	8.5	0.66	0.46	9.7
	施用	少	69.9	30.5	18.0	15.1	12.3	24.9	30.1	6.7	6.5	0.26	4.2	1.5	2.0	7.7	8.4	0.85	0.53	9.8
	無施用	多	82.4	28.7	20.8	18.0	14.0	26.5	32.0	9.4	7.9	0.30	5.9	1.6	2.2	9.8	10.5	1.14	0.67	12.4
	施用	多	83.7	30.9	21.8	16.0	11.4	22.7	30.8	9.1	8.3	0.37	5.3	1.4	1.7	8.5	10.3	0.72	0.63	11.7
黒ボク土	無施用	少	104.1	34.7	25.3	22.0	18.0	31.9	30.0	6.9	5.9	0.18	9.2	2.5	3.1	14.7	12.5	0.98	0.56	14.0
	施用	少	101.1	34.3	22.4	24.6	17.6	29.9	32.3	7.0	5.9	0.20	10.0	2.4	2.7	15.0	13.1	0.98	0.52	14.6
	無施用	多	106.2	33.1	24.3	21.0	17.0	28.8	30.0	6.8	5.8	0.20	8.9	2.3	2.6	13.8	12.7	0.90	0.52	14.2
	施用	多	116.8	34.6	25.4	20.7	17.7	31.0	30.5	7.1	6.1	0.20	9.7	2.5	3.0	15.1	14.2	1.02	0.58	15.8
土壌			**	**	**	*	**	*	**	**	*		**	**	**	**	*			*
石灰処理																				
処理間差	灌水処理		*						*	*	*		*			*			*	*
	土壌×石灰処理								*	*			**			*				
	土壌×灌水処理								**	**			**			*			*	

第4節 窒素施肥の改善

1. 試験方法

1996年と1997年に北海道立 花・野菜技術センター 圃場で窒素施肥量を変えてブロッコリー(品種‘緑嶺’)を栽培した(栽植密度41670株 ha^{-1})。窒素施肥量(基肥-追肥 kg-N ha^{-1})は、0-0, 70-0, 105-0, 140-0, 280-0, 70-35, 105-35の7水準であった。定植期-収穫期は1996年が6月24日-8月24日(晩春まき作型)と7月24日-9月30日(初夏まき作型)であり、1997年は6月6日-8月8日(晩春まき作型)と7月23日-9月26日~10月6日(初夏まき作型)であった。分肥時期は1996年が7月26日, 8月26日(晩春まき作型, 初夏まき作型), 1997年が7月10日, 8月26日(同順)であった。これとは別に、1999年江別市野幌地区の4圃場において、基肥として窒素を ha 当たり70 kg , 100 kg , 140 kg 施肥した圃場で、定植日を6月2日としてブロッコリー(品種‘緑嶺’)を栽培した。

いずれの試験とも、定植約1月目に生育が中庸な株をぬきとり、茎部、葉身部、葉柄部、分枝部に分けて重量を測定するとともに、中位の4葉(最大葉)の葉柄硝酸濃度を測定した。硝酸は、細断した葉柄に重量比で2倍量の脱塩水を加えた後、磨細により抽出し、濃度をフローインジェクションにより測定した。

収穫期に花蕾径を測定し、収穫規格M以上(花蕾径8 cm 以上)のものを規格内とした⁵⁸⁾。このほか、茎部に亀裂が発生し、その部分に空洞が認められた株数も調査した。

収穫規格と窒素施肥量などの解析を行う際に、収穫規格をS:1, M:2, L:3, 2L:4, 3L:5としたダミー変数を用い解析した。

花蕾部の外観品質は、目視による表面の凹凸程度から評価した(表4-7)。

各部位の窒素やカルシウムの濃度の測定は3章第1節に準じて行った。

2. 結果

1) 生育診断指標値の設定

定植1月目および収穫期の生育量、収量、花蕾性状、および、栄養状態の調査結果を表4-8に示した。また、標準的な窒素施肥管理で栽培したブロッコリーの定植1月目における葉位別葉柄硝酸濃度を表4-9に、また、中位葉柄硝酸濃度の推移を、窒素施用量別に図4-4に示した。

定植1月目の葉柄硝酸濃度は中位葉で高く、下位葉、上位葉で低かった(表4-9)。

中位葉の葉柄硝酸濃度は、生育とともに低下し、窒素施肥量が少ない区ほど早くから低下した(図4-4)。

定植約1月目の葉柄硝酸濃度が高いと花蕾の収穫規格は大きい傾向を示した(図4-5)。ただし、葉柄硝酸濃度が6 $\text{g-NO}_3\text{kg}^{-1}$ 程度でも収穫規格はS~Lと差が大きく、定植1月目の硝酸濃度のみでは花蕾の収穫規格を高い精度で予測できなかった。

地上部重に及ぼす定植後日数の影響を小さくするため、定植約1月目地上部重を定植から調査日までの日数で除して求めた日平均地上部乾物重増加量と、収穫規格との関係を見ると、日平均地上部重増加量が大きいほど花蕾の収穫規格は大きい傾向を示した(図4-6)。

そこで、収穫規格と関係を認めた、定植1月目の中位葉葉柄硝酸濃度と日平均地上部重増加量とを説明変数とし、平均収穫規格を目的変数として重回帰関係を調べた。なお、圃場における迅速性を求められる生育診断への結果の活用を考え、日平均地上部重増加量は新鮮重を定植後日数で除した値に置き換えて適用した。その結果、

平均収穫規格 = $0.281 \times \text{日平均地上部重増加量 (g F.W./株/日)} + 0.1153 \times \text{葉柄硝酸濃度 (g-NO}_3\text{kg}^{-1} \text{ F.W.)} - 0.05$ (収穫規格: 1:S~3:L~5:3L, 決定係数0.719)

の関係を認めた。すなわち、定植後1月目前後の中位葉の葉柄硝酸濃度が高く、かつ、地上部肥大が旺盛であると花蕾径が大きい結果を得た。この回帰式により、江別市野幌地区において栽培試験に供したブロッコリーを含めて、収穫規格を表現することはできた(図4-7)。

標準窒素施肥量である140 kg ha^{-1} の区の中位葉の葉柄硝酸濃度の平均値は約6 g kg^{-1} であった。これを式1に当てはめると、商品化率が高いM~Lサイズ(評点で2~3)以上の収穫規格を得られる定植後30日目の地上部重は150~250 g/株 との結果を得た。

表 4-7 花蕾の外観品質の評価項目と評価基準

項目\評価点	1	2	3	4	5
花蕾サイズ ^{注1}	S	M	L	2L	3L
花蕾直径	8cm未満	8cm以上 10cm未満	10cm以上 11cm未満	11cm以上 13cm未満	13cm以上
花蕾表面の凹凸等 ^{注2}	隙間あり 凹凸が著しい	隙間は無いが 凹凸明瞭	やや凹凸あり	凹凸がない 蕾が粗い	均一
花蕾の色 ^{注2}	開花蕾あり	黄色	全面淡緑色	一部淡緑色	濃緑色

注1：北海道野菜地図⁵⁸⁾ に従い判定

注2：目視観察で評価

表 4-8 定植1月目および収穫期における生育・収量・花蕾性状および養分状態の調査結果

年	作 型	窒素施肥量		定植1月目調査結果			収穫期調査結果											
		基肥 (kg ha ⁻¹)	分肥 (kg ha ⁻¹)	平均地上部 増加重(g/日)	硝酸濃度 (g-NO ₃ kg ⁻¹)	予想 ^{注1} 収穫規格	収量(kg ha ⁻¹)		空洞率 ^{注2} (%)	規格別の花蕾個数比率(%)					花蕾養分濃度(g kg ⁻¹)			N吸収量 (kg ha ⁻¹)
							規格内	総収量		S	M	L	2L	3L	N	CaO	Ca/N	
1996	晩春まき	0	0	3.7	3.57	1.4	21	363	0	61	3	3	0	0	30.1	14.8	0.49	46.2
		70	0	6.0	4.22	2.1	274	497	2.5	45	35	10	10	0	34.6	14.0	0.40	96.6
		105	0	6.7	5.93	2.5	468	624	43	25	23	23	20	10	38.2	12.6	0.33	120.2
		140	0	7.6	6.18	2.8	428	650	88	23	45	18	10	5	48.3	11.1	0.23	175.5
		280	0	9.7	7.18	3.5	469	817	100	15	35	20	20	10	54.8	14.4	0.26	230.4
		70	35	6.7	5.30	2.4	391	604	42	34	36	15	13	3	41.6	12.7	0.31	144.3
		105	35	8.0	6.11	2.9	391	644	45	33	45	13	10	0	42.0	12.6	0.3	148.2
	初夏まき	0	0	1.3	7.49	1.2	11.1	443	0	98	3	0	0	0	26.6	10.4	0.39	67.4
		70	0	2.6	6.38	1.4	162	541	0	70	28	3	0	0	28.4	9.0	0.32	99.3
		105	0	2.9	6.78	1.5	275	524	0	48	48	5	0	0	32.8	7.8	0.24	112.0
		140	0	3.0	7.03	1.6	436	622	15	30	35	15	18	3	38.4	8.5	0.22	151.2
		280	0	3.1	7.12	1.6	652	768	80	15	38	25	18	5	48.1	8.5	0.18	256.2
		70	35	3.2	6.47	1.6	122	487	0	75	18	5	3	0	35.9	8.7	0.24	103.4
		105	35	3.0	7.22	1.6	508	655	48	23	45	13	13	8	45.4	6.7	0.15	209.9
1997	晩春まき	0	0	3.9	5.42	1.7	0	330	0	100	0	0	0	0	24.6	-	-	44.6
		70	0	5.5	6.57	2.2	285	476	8	40	40	13	8	0	39.7	-	-	115.8
		105	0	6.2	7.47	2.6	421	540	5	22	48	24	7	0	40.1	-	-	160.9
		140	0	6.6	6.92	2.6	591	638	27	5	51	29	15	0	47.3	-	-	182.6
		280	0	6.9	7.29	2.7	358	863	74	3	5	18	44	31	56.1	-	-	184.6
		70	35	5.5	6.57	2.2	640	691	2	7	22	19	41	10	49.8	-	-	165.8
		105	35	6.2	7.47	2.6	576	672	0	7	45	16	27	5	48.9	-	-	162.3
	初夏まき	0	0	0.7	0.70	0.2	0			0	0	0	0	0	0.0	11.3	-	20.0
		70	0	1.3	0.82	0.4	0	392	0	100	0	0	0	0	29.4	7.6	0.26	44.2
		105	0	1.9	1.29	0.6	11	474	0	98	2	0	0	0	34.5	8.6	0.25	52.8
		140	0	3.0	4.98	1.4	291	583	0	50	40	10	0	0	37.7	7.8	0.21	86.0
		280	0	3.2	5.57	1.5	799	818	0	2	51	24	22	0	43.1	4.8	0.11	155.2
		70	35	1.3	0.82	0.4	287	589	0	51	44	5	0	0	39.3	7.5	0.19	82.0
		105	35	1.9	1.29	0.6	348	620	0	44	51	5	0	0	36.7	8.0	0.22	82.8

注1 硝酸濃度と平均地上部増加重を基に予測した値。1：S～3：L～5：3Lを表す。

注2 切断時に花蕾部の主茎部に明らかな亀裂が認められた花蕾の株数率

表 4-9 ブロッコリーの葉位別硝酸濃度

葉位	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
葉柄硝酸濃度 (g-NO ₃ kg-F.W. ⁻¹)	0.36	6.40	7.87	7.72	7.18	6.20	5.13	4.54	4.25	3.81	3.55	1.92	0.19	0.05

注1) 1996年初夏まき作型 N施肥量140kg-N ha⁻¹のデータ。

注2) 葉位は下からの本葉数を示す。

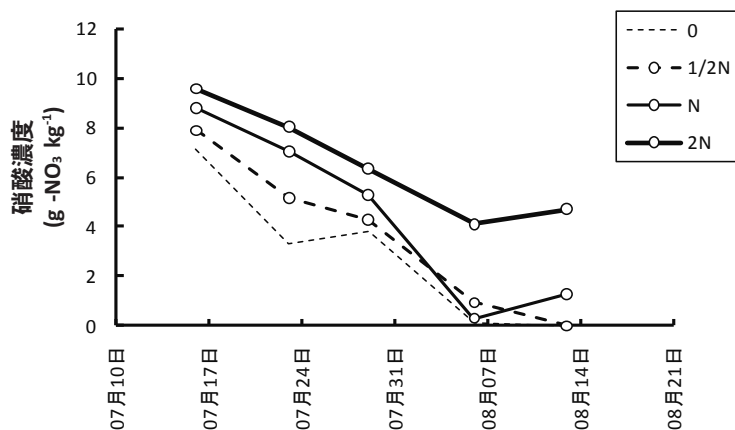


図 4-4 基肥窒素量を異にする中位葉の葉柄硝酸濃度の推移
(1996年晩春まき作型)

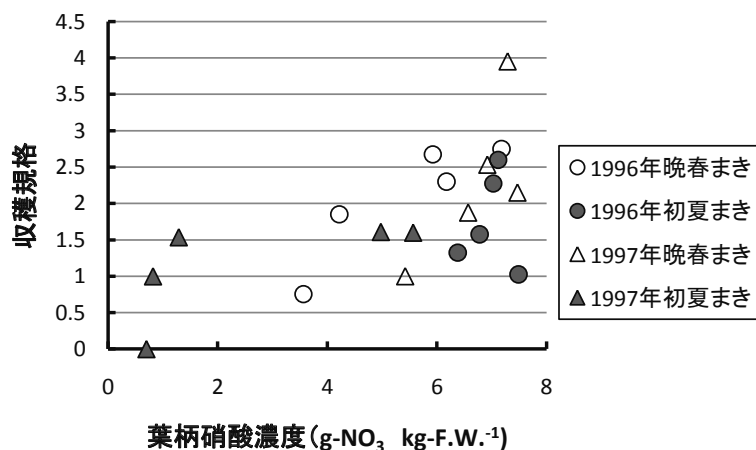


図 4-5 定植 1 月目の葉柄硝酸濃度と収穫時の花蕾の収穫規格との関係
注 1) 葉柄硝酸濃度は中位葉で測定。
注 2) 収穫規格は 1 : S ~ 3 : L ~ 5 : 3 L で表示した。

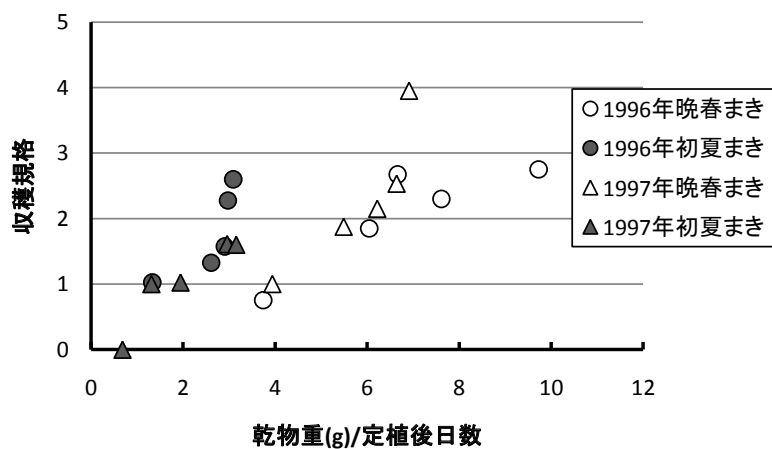


図 4-6 定植 1 月後におけるブロッコリーの 1 日当たり地上部乾物重増加量と収穫時の花蕾規格との関係
注 1) 収穫規格は 1 : S ~ 3 : L ~ 5 : 3 L で表示した。

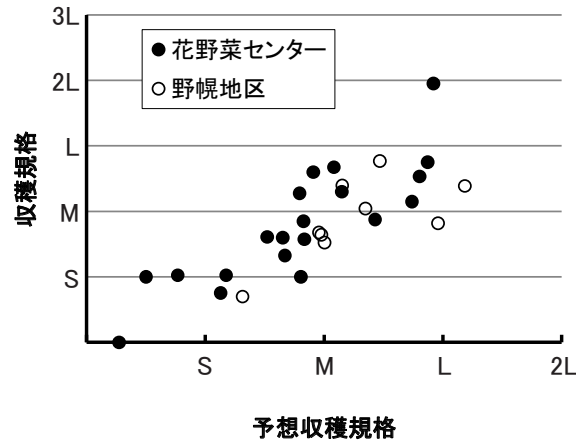


図 4-7 定植 1 月後の中位葉柄硝酸濃度と日平均地上部増加量*による収穫規格の予想**

*：地上部重／定植後日数

**：予想収穫規格 = $0.281 \times \text{日平均地上部増加量 (g F.W./株/日)}$
 $+ 0.1153 \times \text{定植 1 月目の葉柄硝酸濃度 (g-NO}_3 \text{ kg}^{-1} \text{ F.W.)} - 0.05$
 で得た結果を 1:S ~ 3:L ~ 5:3 L に読み替えた。

2) 花蕾の性状に及ぼす窒素栄養状態の影響

花蕾の収穫規格と花蕾部窒素濃度の関係を図 4-8 に、花蕾の窒素濃度と花蕾の外観品質との関係を図 4-9 に、花蕾の窒素濃度と規格内収量との関係を図 4-10 に示した。

花蕾の窒素濃度が高いほど花蕾の直径は増加し、M サイズとなった花蕾の窒素濃度は約 40 g kg^{-1} であった (図 4-8)。

花蕾の凹凸は現地調査のみの判定であったが、窒素濃度が高いほど表面の凹凸が減少し、窒素濃度 42 g kg^{-1} 程度以上の花蕾では外観品質評点は 2 以上で、表面に明らかな凹凸が認められなかった (図 4-9)。

ただし、花蕾の窒素濃度が高い区では空洞化率も高まり、特に、窒素濃度が 50 g kg^{-1} 以上では空洞率が高かった。空洞があると規格外になると仮定すると、窒素濃度が 40 g kg^{-1} 以上では規格内収量は次第に頭打ちとなった (図 4-10)。

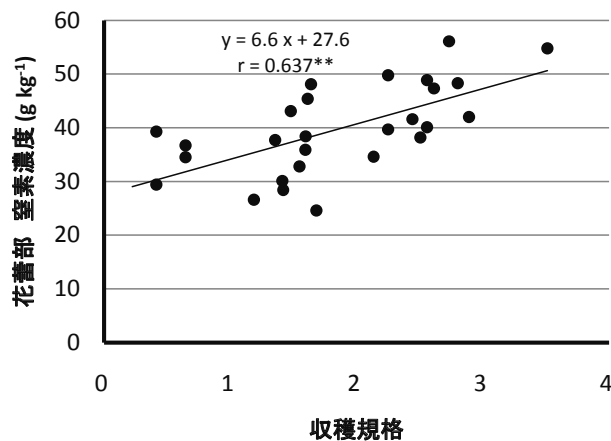


図 4-8 花蕾の収穫規格と窒素濃度との関係

注) 収穫規格は 1 : S ~ 3 : L ~ 5 : 3L で表示した。

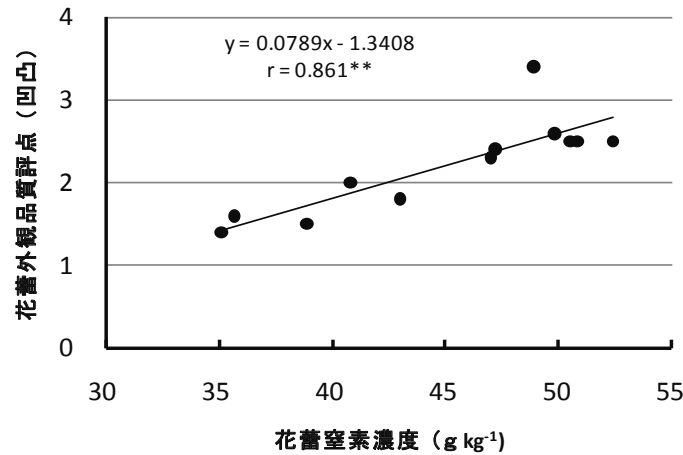


図4-9 花蕾表面の凹凸程度と花蕾部窒素濃度の関係

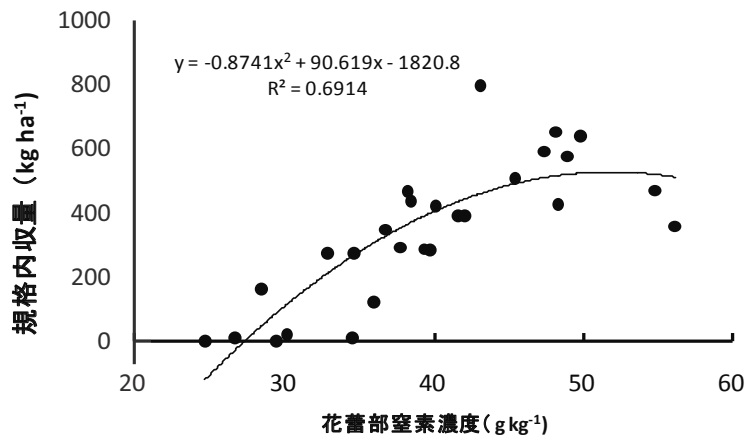


図4-10 花蕾部窒素濃度と規格内収量との関係

3) 花蕾の窒素濃度からみた適窒素施肥量の検討

花野菜技術センター圃場において窒素用量試験を行い栽培したブロッコリーについて、収穫期における地上部窒素吸収量と花蕾部窒素濃度の関係を図4-11に、窒素施肥量と収穫期における地上部窒素吸収量の関係を図4-12に、さらに、収穫期における地上部窒素吸収量と花蕾部Ca/N比との関係を図4-13に示した。

花蕾部の窒素濃度は収穫期におけるブロッコリーの窒素吸収量と高い正の相関関係にあった。花蕾表面に明らかな凹凸が認められなくなる42 g kg⁻¹以上を示す地上部窒素吸収量は142 kg - N ha⁻¹であった(図4-11)。また、地上部窒素吸収量が142 kg - N ha⁻¹を示

した時の窒素施肥量は約149 kg - N ha⁻¹であった(図4-12)。供試圃場では、無窒素区でも平均値44.6 kg - N ha⁻¹の窒素を吸収した。これを土壌由来の窒素量とし、これと窒素施肥窒素量の合計値を窒素供給量とすると、窒素吸収量142 kg - N ha⁻¹を得るのに必要な窒素供給量は約200 kg - N ha⁻¹であった。

なお、窒素吸収量が多いほど、花蕾のCa/N比は低下したが⁸、花蕾のCa/N比は0.2以上となる窒素吸収量は150 kg - N ha⁻¹以下であり(図4-13)、窒素吸収量が142 kg - N ha⁻¹では花蕾のCa/N比は0.2以上にできると判断された。

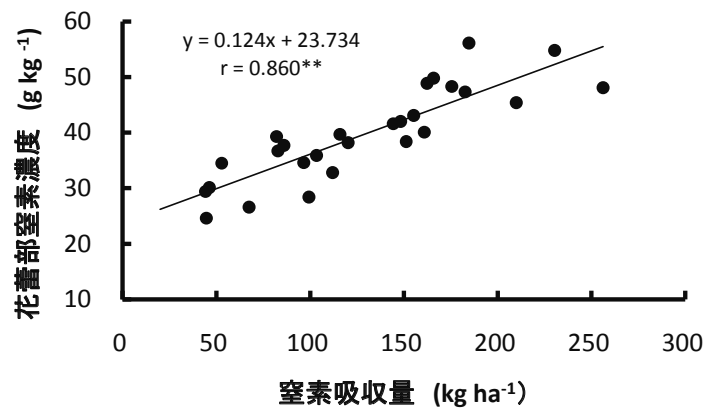


図 4-11 窒素吸収量と花蕾部窒素濃度との関係

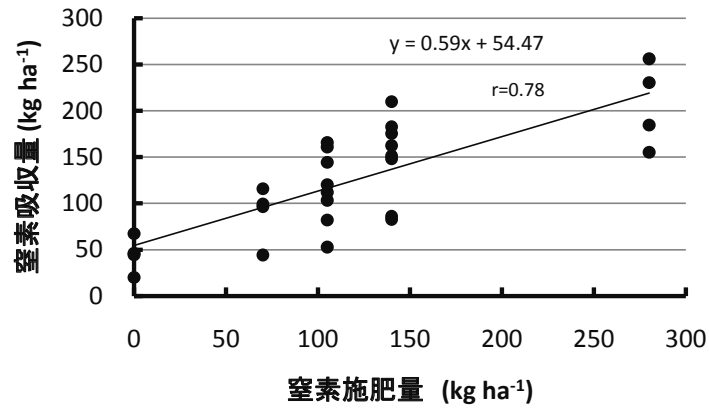


図 4-12 窒素施肥量と地上部窒素吸収量との関係

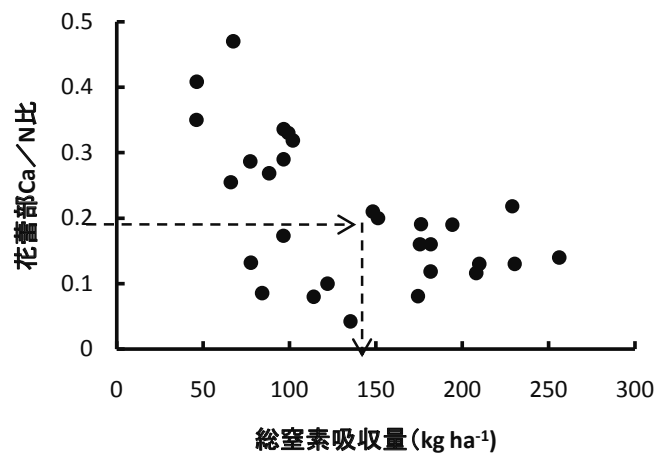


図 4-13 ブロッコリーの総窒素吸収量と花蕾部Ca/N比の関係

3. 考察

ブロッコリーでは良質な花蕾を得るために生育前半から窒素を供給し茎葉を十分生育させる必要がある⁵⁹⁾。しかし、過剰な窒素施肥は花蕾部のカルシウム栄養状態を低下させる。このため、花蕾腐敗病を防ぎつつ商品性の高いブロッコリーを得るためには、窒素施肥量の設定が重要である。

また、生産現場では花蕾の肥大を目的に定植1月後に追肥がなされているが、その要否判定基準が無いため、過剰施肥となる例が多い。そこで、本節ではこれらの点を栽培試験により検討した。

1) 窒素供給量の検討

表面に明らかな凹凸がない外観品質に優れる花蕾(窒素濃度が 42 g kg^{-1} 以上：花蕾の収穫規格 M 以上)を得るための最適窒素供給量(窒素施肥量と土壌からの窒素供給量の合計値)は 200 kg-N ha^{-1} 程度に設定された。このとき、花蕾の Ca/N 比は 0.2 程度にできると予想され、花蕾腐敗病の発病株率は 10% 以下にできると考えられた。

なお、 200 kg-N ha^{-1} の窒素供給量は、易有効水孔隙 ($\text{pF } 1.8 \sim 3.0$) が $7 \text{ mL}/100 \text{ mL}$ 程度、根域深が約 20 cm 程度の土壌に「緑嶺」を植え、かつ、生育期間中に 450 mm 程度の降水量があった場合の値である。なお、供試土壌の易有効水孔隙は道央地帯の疑似グライ土、灰色低地土の値相当であり⁵⁷⁾。さらに、同地域のブロッコリー圃場の平均的な根域深は 19 cm 程度である。したがって、この結果は道央転換畑にある程度適応可能と推測される。

Beverly らは窒素用量試験を行い、ブロッコリーは深さ 75 cm までの土壌窒素を吸収していることを推論している⁶⁶⁾。本試験ではブロッコリーが吸収する土壌窒素の推定や、これに基づく施肥対応は設定できなかった。ただし、 200 kg-N ha^{-1} は北海道施肥ガイド 2010²³⁾ において熱水抽出性窒素含量が $3 \text{ mgN}/100 \text{ g}$ 以下と低い条件における窒素施肥量 220 kg-N ha^{-1} にほぼ一致することから、当面は北海道施肥ガイド 2010 に従い、窒素施肥をすることで過剰施肥は避けられると考えられた。

2) 追肥要否判定基準の策定

過剰施肥を防ぐには、現地で行われている追肥の要否判定基準の策定も必要である。追肥は茎葉の物理的損傷に起因する軟腐病の発生を防ぐため、定植約1月後になされる。

本節では、この時期の中位葉の葉柄部硝酸濃度、日平均地上部重増加量(地上部重/定植後日数)から、以下の式で収穫規格を予想できることを示した。

予想収穫規格 = $0.281 \times \text{日平均地上部重増加量} (\text{g F.W.}/\text{株}/\text{日}) + 0.1153 \times \text{葉柄硝酸濃度} (\text{g-NO}_3 \text{ kg}^{-1} \text{ F.W.}) - 0.05$ (収穫規格: 1:S ~ 3:L ~ 5:3 L, 決定係数 0.719)

さらに、中位葉の葉柄硝酸濃度が 6 g kg^{-1} 、地上部重が $150 \sim 250 \text{ g}/\text{株}$ あれば無追肥でも花蕾は M サイズとなることを示し、追肥の要否判定基準に設定した。ただし、本試験においては追肥窒素の用量試験は行っていないため生育診断に対応した望ましい窒素追肥量の設定はできなかった。

第5節 まとめ

花蕾部のカルシウム濃度を高めて花蕾腐敗病の発病を抑止する対策を現地実態調査や栽培試験により検討した。

その結果、花蕾腐敗病の発病を抑止するために花蕾部のカルシウム濃度を高めるには、まず灌水、易効性有効水分孔隙量が $7 \text{ mL}/100 \text{ mL}$ 程度と少ない土壌では根域深の拡大により吸水量を増やすことが重要なことが分かった。次に、茎葉生育が過剰とならないようにすることが重要で、そのためには、窒素施肥の適正化や分肥のほか、易効性有効水分孔隙量が $11 \text{ mL}/100 \text{ mL}$ 程度と多く、窒素濃度が高い土壌においては根域深を制限することが有効であった。最後に土壌の塩基バランスの適正化、カルシウム資材の施用が重要なことが分かった。

さらに、花蕾部の窒素とカルシウムの濃度比 (Ca/N 比) が発病の危険性を表す指標となること、Ca/N 比が 0.2 以上であれば発病株率は 10% 以下となることを明らかにした。

これを元に発病株率が 10% 以下 (Ca/N 比: 0.2 以上) とするための具体的な根域深や、外観品質に優れ M サイズ程度の花蕾を収穫するのに必要な窒素供給量、定植1月目頃に行われる追肥の要否判定指針を策定した。

第5章 土壌物理性改善によるテンサイ収量の向上と土地改良の効果

1. 既往の知見

第4章まではカルシウム欠乏対策として、窒素施肥の改善、土壌化学性の改善とともに、根域深の拡大の重要性を検討してきた。

根域深拡大を図る手法に、心土破碎、客土や暗渠などの土地改良がある。ここでは、網走管内北見・遠紋地区におけるテンサイの低収対策として、これら土地改良の作物や土壌物理性に及ぼす効果を検証する。

1) テンサイの低収問題

テンサイ、は北海道における基幹畑作物の一つである。網走支庁管内の栽培面積は、全道の40%をしめるが、その収量は施肥量、移植期、栽植様式⁶¹⁾などの人為的影響のほかに、気象や土壌などの自然環境条件の影響を受け不安定である^{62~64)}。なかでも、湿害や旱害が収量に及ぼす影響は大きく、多くの研究がなされている⁶⁵⁾。

湿害は生育期間（5～9月）の月平均降水量が110 mm以上で発生する⁶⁶⁾。網走管内は降水量の少ない地域であるが、北西部に位置する北見・遠紋地区においては4年に1度の割合で湿害となる危険性があり、これは南東部に位置する斜網地帯の7年に1度の割合よりも高い。かつ、北見・遠紋地区には、低地土や台地土が分布するため湿害を受けやすい⁷⁰⁾。

一方、テンサイは生育期間中に530～700 mmの水を必要とするが^{67~69)}、網走地域は降水量が少ない地域であり、6月から8月に月あたり31～63 mm程度の降水量が不足し⁷⁰⁾、旱害を受ける危険性は高い。

これまでの研究で、湿害や旱害を回避するには作土深の拡大が有効であるとされる。丹羽らは、十勝地域で湿害を回避するために明・暗渠の整備、心土破碎の施工が有効なことを示した⁷¹⁾。土屋らは湿害を回避するための望ましい土壌物理性は「通気性が良好（O.D.R4.0以上）の土層が20 cm以上、地下水50 cm以下、深さ10 cmのpFが1.6以上」であることを示

している⁶⁶⁾。

一方、根域深を拡大することによりテンサイは下層土の易有効水も吸収できるようになるため^{72) 73)}、旱害を軽減できるようになる。ただし、火山灰土は30 cm土層に65 mmの易有効水を含むが、沖積土、台地土はそれぞれ32 mm、20 mmと少ないため⁷⁴⁾、これら土壌では火山性土より根域深を一層拡大することが求められる。北海道では畑土壌の物理性の診断基準値（表5-1）として50 cmまで根域制限層が現れないこととなっている。

根域深を拡大するには暗渠、客土、心土破碎などの土地改良が有効である。堅密な火砕流堆積物や重粘土、礫層が浅くから出現する圃場が多い網走管内では、土地改良事業が盛んであるが、事業実施が根域深の拡大や収量・糖分に及ぼす効果を検証した報告はない。

そこで、本報告では、低地土や台地土が広く分布する北見・遠紋地域においてテンサイ圃場の土壌物理性と収量・根中糖分との関係を調査し、既往の知見と併せて、寡雨地帯である同地域において旱害を軽減するために必要な易有効水分量や、これを確保するために必要な根域深を土壌ごとに検討した。さらに、客土・暗渠・心土破碎などの土地改良事業実施圃場と未実施圃場においてテンサイの根域深、収量性、および、土壌物理性を比較し、土地改良の施工が根域深や易有効水分量、および、収量に及ぼす影響と、その効果を検証した。

2. 調査方法

1) テンサイ収量に及ぼす土地改良の影響調査

2002年から2008年に北見・遠紋地域の15筆において土壌の断面と物理性、および、根重収量・糖分を調査し、テンサイの収量性に及ぼす土壌物理性の影響を評価した。各調査圃場毎に、同じ農家が同様に管理する、土壌タイプが同一の近接圃場の中から、土地改良事業歴を有する圃場を選定し、ここにおいても同様の

表5-1 畑土壌の物理性に関する診断基準値

診断項目	基準値	備考
作土の深さ	20～30cm	耕起前または収穫期頃
有効土層の深さ	50cm以上	層厚10cm以上の石礫、盤層、ち密層（山中式硬度計25mm以上）
心土のち密度	16～20mm	山中式硬度計
作土の易有効水容量	10vol.%以上	pF1.5～3.0領域の孔隙量
耕盤層の判定	20mm以上	耕起層直下10cm程度の山中式硬度計の指示値

調査を行い収量に対する土地改良効果を検証した。以後、本報告では、前者を未施工圃場、後者を施工圃場とする。施工圃場の改良工種と調査圃場数は暗渠4筆、客土6筆、心土破碎10筆で、いずれも施工後2～10年を経過していた。なお、施工圃場は礫含量や土性などから判断して、土地改良以外の要因で未施工圃場と土壌断面に差がないと判断した圃場を選んだ。

テンサイの収量性は各圃場3箇所各3 m²ずつ計9 m²においてサンプルを採取し、根重収量、糖分と糖量の平均を求め評価した。各圃場で深さ1 mまで土壌断面を掘り、山中式硬度計で土壌硬度を測定し、有効土層（厚さ10 cm以上の礫層、透水不良な土層、堅密な土層が出現するまでの土層）の深さや硬盤層までの深さを調べ、土塊の性状や腐植の多少、根域なども考慮して作土深を調べた。あわせて、採土管試料を採取し、三相分布（pF1.8）、容積重、易効性有効水分孔隙量（pF1.8から3.0）、飽和透水係数を測定し、易有効水分量（RAW（mm）：易効性有効水分孔隙量（mL/100 mL）×層厚（cm）/10）を求めた。これらは層厚で加重平均し、有効土層、作土および硬盤層までの土層の値とした。

これら調査とともに、水ストレスの程度を把握するため、直近のアメダスデータから調査地点の降水量と蒸発散量を推定し、「降水量－蒸発散量」から10日単位で調査地点の余剰水量（mm/日）を求めた。蒸発散量はFAO（1998）の方式⁷⁵⁾を参考に式1により推定した。

推定蒸発散量＝推定蒸発散位（ ET_0 ）×作物係数（ K_c ）…式1

推定蒸発散位（ ET_0 ）は三浦らの報告に基づきペンマ

ン法により求めた^{76) 77)}。蒸発散位の算出に必要な相対湿度は志賀の方法⁷⁸⁾により求めた。

作物係数（ K_c ）は生育ステージを考慮した北海道開発局資料を基に⁶⁹⁾近似式（式2）を作成して求めた。

$$K_c = 1.28 \times 10^{-8} \times d^4 - 4.71 \times 10^{-6} \times d^3 + 4.78 \times 10^{-4} \times d^2 - 7.48 \times 10^{-3} \times d + 0.522 \cdots \text{式2}$$

（ d ：定植後の日数）

2) テンサイ収量と土壌理化学性に係る補完調査

1) とは別に、北見・遠紋地域各地域のテンサイ栽培圃場において硬盤層の出現深と、硬盤層の硬度、収量の実態を調査した。調査は2004年に、北見 7筆、訓子府 3筆、佐呂間10筆、遠軽 3筆、上湧別 5筆、湧別 5筆、生田原 2筆で行った。なお、テンサイ栽培期間である5月1日から10月31日までの当年の積算降水量は480 mm（平年対比－21 mm, 96%）と平年並であった（置戸町境野アメダス）。

3. 結果および考察

1) 未施工圃場における収量変動要因

土地改良の影響調査結果に基づき、テンサイの収量性に及ぼす土壌物理性の影響を解析した。土地改良による物理性改善の影響を除くため、未施工圃場を対象とした。

調査圃場近傍のアメダス観測地点における5～9月の月平均降水量は67.8 mm～110.2 mm、平均84.4 mmであり、過去20年間の平均降水量89.7 mmとほぼ同等であった。2006年における訓子府調査圃場2筆において月平均降水量は110.2 mmと多かったが、

表5-2 テンサイの根重収量および糖分と窒素施肥量、積算降水量および土壌物理性との単相関係数(n=15)

項目	窒素施肥量	5月上旬から各旬までの積算降水量(mm)								
		5月中旬	5月下旬	6月上旬	6月中旬	6月下旬	7月上旬	7月中旬	7月下旬	8月上旬
根重収量	-0.280	0.277	0.652**	0.670**	0.539*	0.478	0.423	0.550*	0.350	-0.080
糖分	0.099	0.078	-0.270	-0.313	-0.201	-0.295	-0.226	0.222	0.014	0.016

	深さ	平均ち 密度	容積重	(pF1.8)				透水係数	有効水	RAW
				固相率	細孔隙率	粗孔隙率	孔隙率			
根重収量										
有効土層	0.564*	0.046	-0.473	-0.423	0.748**	-0.298	0.415	-0.282	0.233	0.550
作土層	0.027	-0.349	-0.251	-0.445	0.461	-0.063	0.439	-0.227	0.291	0.203
硬盤層	-	-0.209	-0.553*	-0.551*	0.717**	0.104	0.551*	0.151	0.221	-
糖分										
有効土層	-0.237	-0.088	0.264	0.239	-0.368	0.121	-0.249	-0.464	0.017	-0.261
作土層	-0.216	0.208	0.094	0.191	-0.296	0.113	-0.200	-0.426	-0.150	-0.160
硬盤層	-	-0.003	0.188	0.191	-0.172	-0.075	-0.191	-0.463	0.004	-

注：*は5%レベルで、**は1%レベルで関係が有意なことを表す。

根重収量はそれぞれ 83.6 Mg ha^{-1} , 84.4 Mg ha^{-1} と多く、湿害症状は認められなかった。

未施工圃場の根重収量は平均 68.1 Mg ha^{-1} ($46.8 \text{ Mg ha}^{-1} \sim 86.2 \text{ Mg ha}^{-1}$, 変動係数: 17%) であり、同期間の網走管内の平均収量 (62.3 Mg ha^{-1}) 比 + 9% であった。糖分は平均 16.5% (14.3% ~ 18.3%, 変動係数: 7%), 糖量は平均 11.2 Mg ha^{-1} ($8.3 \text{ Mg ha}^{-1} \sim 13.5 \text{ Mg ha}^{-1}$) であった。

これら収量性に影響を及ぼした土壌・気象要因を検討するため、調査項目との単相関係数を求めた(表5-2)。有機物からの窒素放出推定量を含めた窒素施肥量が根重収量に及ぼす影響は大きいとされる。調査圃場における窒素施肥量は $110 \sim 258 \text{ kg-N ha}^{-1}$ (平均 173 kg-N ha^{-1}) と北海道施肥標準量を中心に変動していたが、根重収量と有意な関係にはなかった。次に気象条件の影響を見ると、8月上旬を除く各旬の積算降水量は根重収量と正の相関関係を示し、特に、5月下旬から6月中旬にかけての積算降水量が多いほど多収であった。調査年の生育期間における平均積算降水量は 461 mm ($329 \sim 711 \text{ mm}$) と、過去20年間の平均値並であり、これはテンサイが生育期間に必要なとする $530 \sim 700 \text{ mm}$ の要水量より少なく、要水量を満たしたのは2006年の3圃場のみであった。さらに、収量への降水量の影響が特に大きかった6月中旬までの期間は苗の活着を促す畑灌漑の重点期である⁷⁹⁾。これらのことから、テンサイの根重収量は窒素施肥量よりも降水量の影響を強く受けていたと考えられた。

また、土壌物理性が根重収量に及ぼす影響をみると、有効土層が深く、有効土層の細孔隙率が高いほど多収であった。有効土層が深いほどRAWが多いことから(図5-1)、テンサイの吸収可能水量は増えたと考えられた。

以上のことから、調査圃場においてテンサイの根重収量は水吸収量の影響を強く受けていたと考えられる。

根重収量は硬盤層の発達程度によっても制限されていた。すなわち、根重収量は硬盤層の細孔隙率と有意な正の相関関係に、硬盤層の容積重や固相率とは負の相関関係にあった。硬盤層の出現位置が深い圃場は、その土壌硬度が低い傾向にあり(図5-2)、硬度が25 mm以上の硬盤層が地表から25 cm以内に出現する圃場の収量は、調査圃場の平均収量 (63 Mg ha^{-1}) より低い例が多かった。硬盤層は根の伸張や土壌中での水や空気の移動を阻害し作物生育を抑制する^{80) 81)}。したがって、発達した硬盤層が浅くから出現すると、水吸収がいっそう制限され、生育は抑制されると判断された。

本調査においては作土の深さやその物理性が収量に及ぼす影響は判然としなかった。根は土層内の亀裂に沿い作土よりも深く有効土層深まで伸びていたためと考えられた(図5-3)。

糖分は前作物、栽植様式、窒素施肥量等、多様な要因の影響を受け変動する。本調査では、前作物は大半が小麦で、栽植様式も移植のみと限られており、窒素施肥量との関係や土壌物理性の影響は判然としなかった。また、糖分に影響する葉重と根重の比(T/R比)は葉重が根重と同様に5月下旬から6月上旬の降水量の影響を受け変動したため(単相関係数: $r=0.500 \sim 0.585$)、これが糖分に及ぼす影響は判然としなかった。ただし、糖量は根重収量が多いほど多く($r=0.936^{**}$)、作土や硬盤層の細孔隙率が多いほど多く(単相関係数: 0.674 および 0.709)、5月下旬から6月上旬の降水量が多い年ほど多かった($r=0.610$)。したがって、糖収量を増やすためにも、吸水量が増えるように作土および硬盤層の土壌物理性を改善することが重要と考えられた。

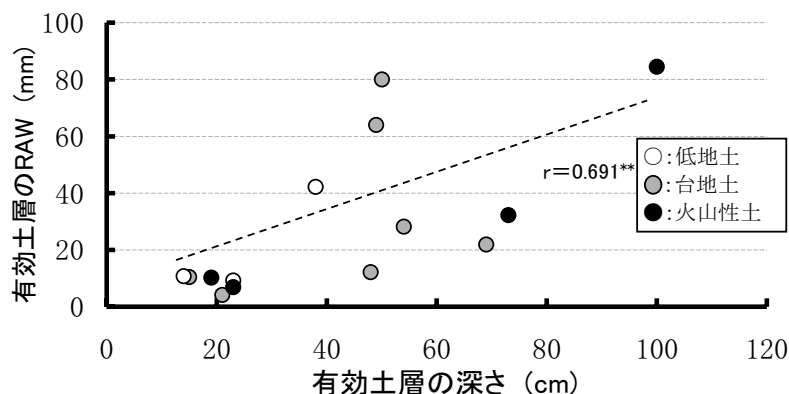


図5-1 有効土層の深さと有効土層の易有効水分量 (RAW) との関係

** : 1%レベルで有意

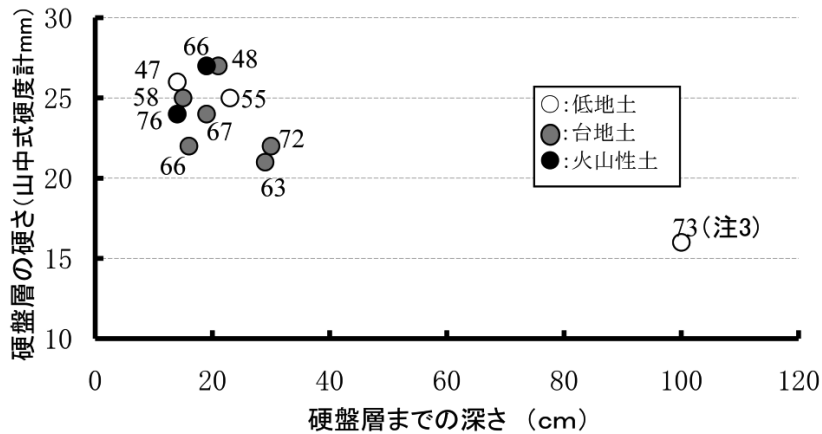


図5-2 硬盤層までの土層の深さ、硬盤層の硬さと収量の関係

注1) 図中の数字は収量 (Mg ha⁻¹) を表す。

注2) 6月中旬まで降水量が平年値より多かったH18, 19年の4点は除いた。

注3) 硬盤層が認められなかった圃場。

注4) 硬盤層の硬さは山中式硬度計の測定値 (mm) で表した。

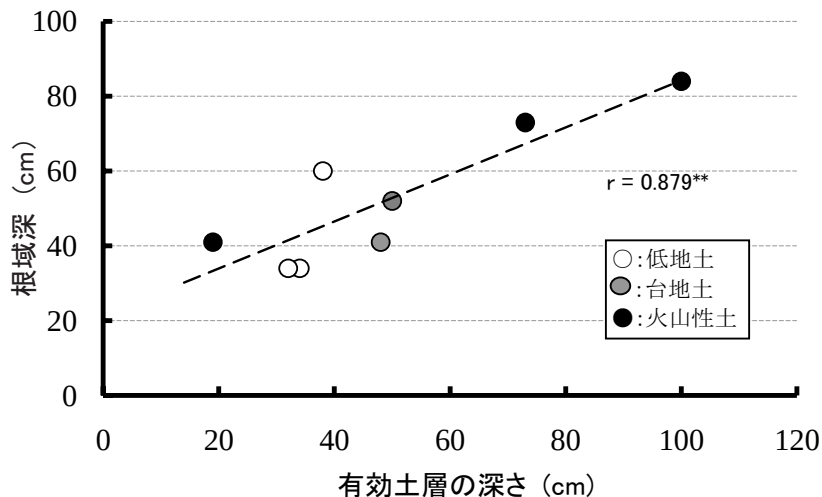


図5-3 有効土層の深さとテンサイの根域深との関係

** : 1%レベルで有意

2) 収量からみた望ましい土壌物理性

土地改良の影響調査の結果から、北見・遠紋地区においては降水量が要水量に達しないため、根域深を拡大しRAWを増やすことが収量性を高める上で重要であると考えられた。そこで、平均的な収量を得るために必要な有効土層のRAWと根域深を検討した。まず、有効土層のRAWと根重収量の関係を見ると、収量は有効土層のRAWの増加とともに増え、40～60mm前後で頭打ちの傾向を示した(図5-4)。調査地点における推定降水量から推定蒸発散量を差し引いた値は、年や地区により異なるが、6月上旬から8月の間は負

の値を示した圃場が多く、その値は34～66mmの範囲にあり(図5-5)、収量が頭打ちとなった有効土層のRAWの値とほぼ一致した。これらのことから、調査年は水不足の傾向にあり、有効土層のRAWを40～60mm程度に確保できた圃場では収量が確保できたと判断された。調査年の降水量は過去20年間の平均値に近いので、北見・遠紋地区において有効土層のRAWを40～60mm確保することが平均的な根重収量を確保するために必要と判断された。

続いて、このRAWを確保するために必要な有効土層深を検討した。道内の各種土壌のRAWはすでに調

査されており、その平均値は低地土および台地土は26 mm, 28 mm(0～50 cm土層深), 火山性土は49 mm(0～30 cm土層深)である⁵⁷⁾。また、網走管内農耕地の有効土層深は、地力保全調査報告書によると低地土64 cm, 台地土67 cm, 火山性土79 cmである。したがって、火山性土では根域深を30 cm以上確保するこ

とで40～60 mmのRAWを確保でき、低地土や台地土ではRAWが多くなるように有効土層深を50 cm以上に拡大することが必要と考えられた。

本調査において泥炭土は未調査であるが、RAWは46 mm(0～30 cm)であるので、旱害は根域深を30 cm程度確保することで軽減できると判断された。

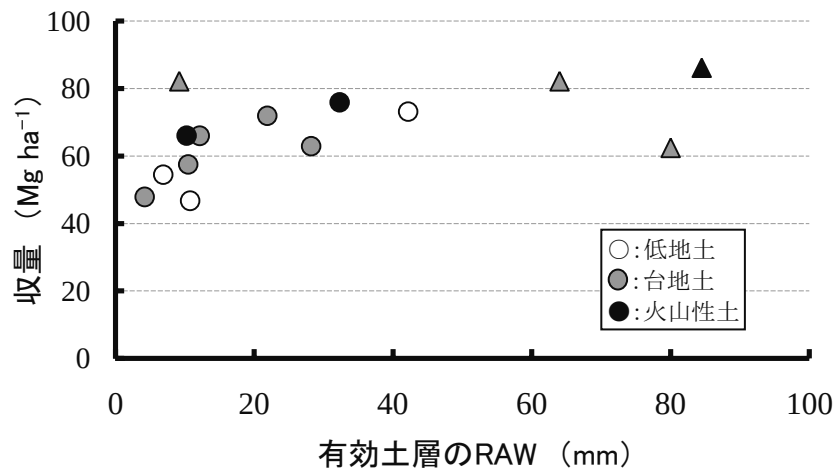


図5-4 有効土層の易有効水分量(RAW)とテンサイ収量の関係
注) 6月中旬までの降水量が平年より多かった2006年, 2007年のデータは三角形のプロットで示した。

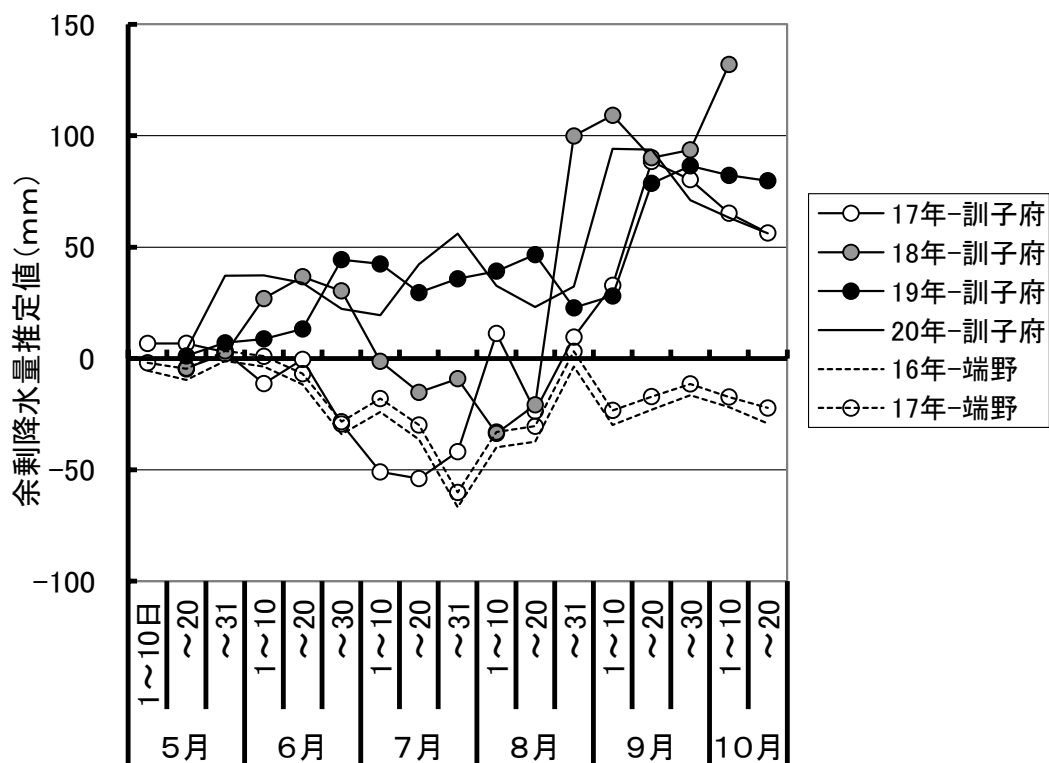


図5-5 栽培期間中の余剰降水量推定値の推移
注) 余剰降水量推定値 = 降水量 - 推定蒸発散量

次に、根重収量に硬盤層の発達程度も影響していたため、2004年の補完調査結果から改良を必要とする硬盤層の発達程度を検討した。まず、補完調査実施圃場について、膨軟な土層の深さを5 cm単位で、また、その下の硬い層の土壌硬度を5 mm単位で区分し、各区分に属した圃場の平均根重収量を表5-3に示した。その結果、根重収量が全調査圃場の平均以上となった区画は膨軟な土層が20 cm以上で、その下の硬い層の硬度は25 mm未満であった。調査圃場の平均収量は、調査年の北見・遠紋地域全体の平均収量(63.4 Mg ha⁻¹)とほぼ同じであり、調査年の網走管内における5～9月の月平均積算降水量(73 mm)は、過去20年間の平均値(90 mm)以下なので、補完調査において得られたこの結果を満たせば平準年には平均収量を確保できる推測された。膨軟な土層深20 cm以上あることは湿害を回避する上でも有効とされる⁶⁶⁾。

なお、調査圃場の内、膨軟な土層深が20 cm以上、かつ、硬盤層の硬度が25 mm未満であった圃場は全体の4割に満たなかった。硬盤層の出現深は礫質褐色低地土で最も浅く、黒ボク土も浅い傾向にあり、硬盤層の硬度は灰色台地土において最も堅密(平均24)であり、これらの土壌では改善が必要な圃場が多かった。

以上のことから、降水量が平年並みの年に北見・遠紋地区においてテンサイの収量を確保するには、有効土層のRAMが40～60 mmとなるように、有効土層深を火山性土では30 cm程度、台地土や低地土では

50 cm以上確保することが重要で、かつ、硬盤層の出現位置が20 cmより深く、硬度は25 mm未満となるように土壌を管理することが必要と判断された。

3) 土地改良が収量および土壌物理性に及ぼす効果

土地改良事業の実施が有効土層深や有効土層のRAW、硬盤層までの深さや硬度に及ぼす影響を検証するため、土地改良施工圃場と未施工圃場とでこれらの値を対比して工種毎に表5-4にまとめた。

有効土層深は、客土施工圃場において未施工圃場より有意に深かった。また、硬盤層出現深は、各工種とも施工圃場において未施工圃場より深く、特に、客土や心土破碎の施工圃場における差は統計的に有意であった。さらに、硬盤層の硬度は心土破碎で有意に低下していた。このように、土地改良は土壌物理性をテンサイ収量が増加する方向に改善させていた。この改善程度を有効土層のRAWで評価すると、各工種とも施工圃場は未施工圃場よりRAWが平均約14 mm増加していた。したがって、0～50 cmのRAWが26 mm、28 mmと限られる低地土や台地土においても、土地改良を施工することにより、RAWを標準的な収量を得るのに必要な値(40 mm)に増やすことが期待できる。

そこで、土地改良施工圃場と未施工圃場とで根重収量を比較すると、施工圃場は未施工圃場より5.7～18.8 Mg ha⁻¹多収であった。さらに、施工圃場の根重収量(70.7～80.6 Mg ha⁻¹)は、調査年の管内平均反

表5-3 地表の膨軟な土層の深さとその下の硬い層のち密度とテンサイ収量の関係

		膨軟な層の下の土壌硬度 (mm)					平均 収量
		～15	～20	～25	～30	～35	
膨軟な土層の深さ (cm)	～10		58.0		50.0	61.0	56.3
	～15		61.0	57.8	58.7		59.2
	～20		69.0	61.0	55.8	68.0	63.5
	～25		55.5	64.3	76.0		65.3
	～30		69.0	70.0			69.5
	～35		69.0				69.0
	～40						
	～45						
平均収量			63.6	63.3	60.1	64.5	62.8

注1) データは2004年の収量 (単位: Mg ha⁻¹)

注2) 網掛けした区画は、区画に属する複数圃場で収量が平均収量を上回ったことを示す。

注3) 土壌ち密度は山中式硬度計目盛り指示値で表示した。

注4) 図のラベルは”～20”は”15以上20未満”を示す。他同じ。

収 (64.0 Mg ha^{-1}) を上回っていた。したがって、暗渠、客土、心土破碎などの土地改良はテンサイの収量確保に有効であると考えられた。

なお、工種別に施工効果を見ると、客土による増収程度は統計的に有意ではなかった。これは、養分含量に乏しい火砕流堆積物を客土材として使用していたほか、施工圃場において硬盤部の飽和透水係数が低下していることが影響したと考えられる。客土施工時の大型機械による踏圧により硬盤層が発達することも指摘されており⁸²⁾、客土施工にあたっては注意が必要であろう。

また、本報告では、土地改良の効果を根域深や RAW の拡大から解析したが、暗渠施工圃場は未施工圃場よ

り土色が酸化的となった例や、土壌構造も均質構造から発達程度が弱い細塊状構造や塊状構造へと改善された例が認められた。このように土地改良には RAW の増加以外に多様な効果が期待され、施工にあたっては留意すべき点はあるものの、その実施は土壌の物理性改善を通してテンサイの増収に有効であることが実規模で確認された。

表 5-4 土地改良未施工圃場と施工圃場との土壌物理性およびテンサイの収量の比較

層位	項目	暗渠			客土			心土破碎		
		未施工	施工	p	未施工	施工	p	未施工	施工	p
有効土層	深さ (cm)	75.0	86.0	0.25	43.3	58.3	0.02	67.1	66.6	0.48
	ち密度 (mm)	14.2	15.6	0.34	23.7	26.1	0.22	17.9	16.0	0.15
	容積重 ($\text{g } 100\text{mL}^{-1}$)	105.6	98.7	0.08	124.1	121.0	0.29	124.7	122.3	0.35
	固相率 (%)	42.2	39.1	0.10	48.4	49.0	0.36	45.1	45.1	0.49
	液相率 (%)	42.1	45.5	0.21	37.9	39.6	0.13	42.8	40.8	0.17
	気相率 (%)	15.7	15.4	0.46	13.9	11.4	0.06	12.2	14.2	0.15
	孔隙率 (%)	57.8	61.0	0.09	51.6	51.0	0.37	55.0	54.9	0.49
	飽和透水係数	8.2×10^{-4}	5.9×10^{-4}	0.37	1.3×10^{-3}	6.2×10^{-4}	0.11	1.9×10^{-4}	7.8×10^{-4}	0.04
	易効性有効水分 ($\text{mL } 100\text{mL}^{-1}$)	9.2	11.7	0.18	4.8	6.3	0.18	8.6	8.6	0.48
	RAW (mm)	81.5	127.9	0.11	19.0	34.3	0.06	52.7	61.7	0.27
硬盤層までの土層	深さ (cm)	26.3	28.0	0.34	22.2	30.7	0.02	25.6	37.0	0.05
	ち密度 (mm)	12.9	10.3	0.09	10.8	14.0	0.20	11.5	15.0	1×10^{-4}
	容積重 ($\text{g } 100\text{mL}^{-1}$)	105.6	100.1	0.09	121.6	120.0	0.36	109.7	107.2	0.32
	固相率 (%)	42.1	40.7	0.19	47.0	48.7	0.16	41.1	42.3	0.24
	液相率 (%)	40.6	43.1	0.23	38.9	38.9	0.49	42.9	40.7	0.04
	気相率 (%)	17.4	16.2	0.36	14.1	12.4	0.14	15.9	18.6	0.24
	孔隙率 (%)	57.9	59.3	0.19	53.0	51.3	0.16	58.9	57.8	0.25
	飽和透水係数	1.0×10^{-3}	7.7×10^{-4}	0.38	1.3×10^{-3}	4.0×10^{-4}	0.02	3.2×10^{-4}	7.7×10^{-4}	0.06
	易効性有効水分 ($\text{mL } 100\text{mL}^{-1}$)	6.5	7.5	0.17	5.0	6.5	0.22	8.5	8.3	0.45
	RAW (mm)	17.4	21.3	0.04	12.2	19.3	0.14	27.7	36.7	0.24
	収量 (Mg ha^{-1})	57.2	76.0	4×10^{-4}	65.1	70.7	0.13	73.1	80.6	0.01

注1) 有意差 (p) : t検定による未施工圃場と施工圃場の差に関する危険率を表す。

注2) 深さを除き、土壌物理性の値は各土層内に現れた各層位の値の平均値で表示した。

注3) ち密度は山中式硬度計目盛り読み値で表示した。

4. まとめ

北見・遠紋地域においてテンサイの低収原因を検討し、その改善方策を検討した。

その結果、寡雨である同地域でテンサイの収量を増やすには、増肥よりも、有効土層の易効性有効水分量(RAW)が40～60 mmとなるように、有効土層深を火山性土では30 cm以上、低地土や台地土では50 cm以上確保することが重要で、かつ、硬盤層の出現位置が20 cmより深く、硬度は25 mm未満となるように土壌を管理することが必要であることが分かった。

土壌条件が劣る圃場が多い当地域で易効性有効水分量を増やす方策として、客土、心土破碎や暗渠などの土地改良が有効であることが分かった。すなわち、客土、心土破碎や暗渠の施工により硬盤層出現深は深くなり、その硬度は心土破碎で低下すること、客土により有効土層深は拡大すること、そして、これら改良によりRAWは約14 mm増加することが分かった。これは易効性有効水分量が26 mm, 28 mmと限られる低地土や台地土のRAWを40 mm前後に増やす上で有効と考えられた。土地改良施工圃場のテンサイ収量は網走管内の平均反収以上になることが分かった。

このように土地改良の施工により、RAWの増加や、硬盤層の改良など、土壌物理性はテンサイが増収する方向に変化することが確認され、実際にテンサイの増収効果が確認された。

第6章 総 合 考 察

野菜畑における心土の密度増加や、孔隙率減少など、土壌物理性の悪化に伴い、1980年ころから土壌物理性に関わる栄養生理障害事例が増え、この中で園芸作物を中心にカルシウム欠乏に係る障害報告も増えてきた。

カルシウム欠乏対策に関する報告は多く、これらを組み合わせることでその改善は可能と考えられるが、カルシウム欠乏が発生する危険性を判定する指標項目と指標値の設定、改善効果が大きく優先されるべき対策の提示、土壌の種類に応じた土壌物理性の改善目標値の設定は必要と考えられる。

そこで、農業試験場に持ち込まれたカルシウム欠乏について発生要因を検討し、ブロッコリーのカルシウム欠乏では発症の危険性を表す指標の設定や軽減対策の優先順位を検討し、望ましい根域深や窒素施肥法について具体的に示した。根域深を拡大する方策の一つとして、暗渠、客土、心土破碎などの土地改良が有効であることを、テンサイの低収事例で検討した。

以上の結果を基に、カルシウム欠乏対策についての総合考察を行った。

6-1. カルシウム欠乏の発生要因

試験場に持ち込まれた生理障害であるトマトのチャック果や窓あき果、イチゴの先白果について、正常果と障害果の養分濃度を比較して発症原因を検討した結果、これらはカルシウム欠乏の一種と判断された。圃場調査の結果、本圃における栽培管理や気象条件とともに土壌条件も発症に影響することが示唆された。すなわち、障害が多発した農家は、最低地温が低く気温日較差が大きいほかに、①交換性カリウムやマグネシウム含量や有効態リン酸含量が多い、②地上部生育が旺盛である、③地下水位が高く、圃場の排水性が劣るなどの特徴を有していた。

カリウム、マグネシウムはカルシウム吸収と拮抗する成分である。リンが過剰吸収されるとカルシウム吸収や体内での移行が阻害されると考えられた。カルシウムは導管内を蒸散流とともに移動するため、窒素施肥量が多く茎葉生育が旺盛となるとカルシウムは主に葉に集積して果実に分配される割合が減少する。このように、これら養分の過剰供給はカルシウム欠乏を助長する。

カルシウムは根先端部や分枝根の発生部位など、カスパリー帯が未形成の部分において受動吸収される。このため、根張りが旺盛で根端部が多いことは、カルシウム吸収に有利であると考えられる。根張りは土壌硬度や地下水位などの土壌条件の影響を受けるため、カルシウムの吸収はこれら土壌物理性の影響を反映しやすいと考えられる。ただし、本報で解析したトマトとイチゴを比較すると、より耐湿性に勝るイチゴでは、地下水位はカルシウム吸収に影響せず、地下水位が高いと茎葉生育が旺盛となり、その結果、果実へのカルシウムの配分が減少してカルシウム欠乏が生じていた。このように、作物により物理性の影響は異なる可能性があるが、地下水位など根張りに影響する土壌条件もカルシウム欠乏に影響していると考えられた。

以上から、カルシウム欠乏には土壌化学性や根域深、地下水位、肥培管理など複数の要因が影響していることが本報でも示された。

6-2. ブロッコリーにおけるカルシウム欠乏対策

1) 花蕾部のカルシウム濃度と花蕾腐敗病の関係

複数年にわたる窒素用量試験や、花蕾部に対するカルシウム資材散布試験の結果から、ブロッコリーの花蕾腐敗病は窒素施肥量や気象条件のみでなく、花蕾部のカルシウム濃度が影響し、花蕾のカルシウム濃度が高いと発病株率は低くなることを明らかにした。

そこで、花蕾部のカルシウム濃度を高めて発病を抑止する対策を現地実態調査や栽培試験結果に基づき検討した。

その結果、土壌の交換性カルシウム含量が高い圃場で花蕾腐敗病の発病株率が低いことを認めた。道内でブロッコリーの生産が盛んな道央部の水田転換畑は水田土壌の化学性を反映し、また、道東部の畑圃場は土壌病害を制御するため、交換性カルシウム含量が低い圃場が多い。したがって、石灰質資材を施用して交換性カルシウム濃度を適正にすることは重要と考えられる。

過剰な窒素施肥は花蕾部のカルシウム濃度を低下させた。窒素増肥は茎葉生長と葉へのカルシウム集積を促し、また、花蕾部の肥大を速めることが原因と考えられた。なお、窒素を定植1カ月目に分肥すれば、全量基肥とした場合より葉の生育量は少なくなり、花蕾

のカルシウム濃度は増えて花蕾腐敗病が抑止できた。

カルシウム吸収に灌水や根域深が影響することを栽培試験により確認したが、望ましい根域深は土壤の易効性有効水分孔隙量により異なることが分かった。易効性有効水分孔隙量が7 mL/100 mLと少ない土壤においては灌水や根域深の拡大により花蕾のカルシウム濃度を高められたが、易効性有効水分孔隙量が11 mL/100 mLと多く窒素含量が多い土壤においては花蕾のカルシウム濃度に灌水は影響せず、根域の拡大は窒素吸収量を増やすため花蕾のカルシウム濃度を低下させた。このように、花蕾のカルシウム濃度を高めるために必要な根域深は土壤により異なることが分かった。

最後に、カルシウムの土壤施用効果は、易効性有効水分孔隙量が少ない土壤では小さく灌水で増大し、保水量が多く窒素濃度が高い土壤では窒素吸収量を抑えて葉部の生育を適度にするのが花蕾部にカルシウムが集積する上で必要と推察された。

以上を要約すると、花蕾腐敗病の発病に花蕾部の窒素やカルシウム濃度が影響し、これらは肥培管理で制御できることが明らかとなった。花蕾のカルシウム濃度を高めるにはまず、灌水や、保水力が小さい褐色森林土のような土壤では根域深の拡大により吸水量を増やすことが重要なことが分かった。次に、茎葉生育が過剰とならないようにすることが重要で、そのためには、窒素施肥の適正化や分肥のほか、保水量が多く窒素濃度が高い黒ボク土のような土壤においては根域深を制限することが有効であった。最後に土壤の塩基バランスの適正化、カルシウム資材の施用が重要なことが分かった。

2) 花蕾腐敗病を抑止するための具体的管理指針

本報では、花蕾腐敗病には花蕾部の窒素濃度とカルシウム濃度の双方が影響することから、花蕾部の窒素とカルシウムの濃度比(Ca/N比)が発病の危険性を表す指標となり、Ca/N比が0.2以上であれば発病株率は10%以下となることを明らかにした。

そこで、Ca/N比を指標に発病株率が10%以下(Ca/N比:0.2以上)とするための具体的な根域深や窒素施肥量を検討した。

まず、現地調査において、Ca/N比を0.2以上とする根域の易効性有効水分量は20 mm以上であることを明らかにした。これを得るための根域深を土壤の平均的な易効性有効水分孔隙量から求めると、火山性土や泥炭土は15 cm程度、台地土や低地土は20 cm～

30 cmであった。ただし、道央低地土における調査によると、根域深が20 cm未満の圃場は約6割と多かった。したがって、道央の低地土では根域の拡大や保水量の増加を図ることで花蕾腐敗病を抑止できると考えられた。

次に、品種‘緑嶺’において、Mサイズで表面の凹凸が少ない花蕾(花蕾部窒素濃度:42 g-N kg⁻¹, 窒素吸収量:142 kg-N ha⁻¹)を得るための窒素供給量(施肥量+土壤からの窒素供給量)は200 kg-N ha⁻¹と設定された。これは北海道施肥ガイド2010における、熱水抽出性窒素含量が低い圃場に対する窒素施肥量とほぼ一致する値であった。なお、窒素吸収量と花蕾のCa/N比の関係から、このときのCa/N比は0.2以上、発病株率は約10%以下に抑えることが可能と考えられた。窒素の過剰施肥は、茎の空洞化率を高めるため、規格内収量の増加に反映しないことも示した。したがって、北海道施肥ガイドに従い肥培管理を行えば、高品質安定生産が図られると判断された。

花蕾直径が市場出荷規格に達するように定植1月目頃に窒素追肥を行う農家が多い。本報では、追肥の可否を判定基準についても検討し、中位葉の葉柄硝酸濃度が6 g-NO₃ kg⁻¹、定植1月目の地上部重が150～250 g/株を満たしていればM～Lサイズで表面の凹凸が少ない花蕾を得られる事が分かった。生産現場では必要以上に追肥されている例も多いので、この結果は高品質安定生産を図る上での参考になると考えられる。

6-3. 土地改良による土壤物理性改善効果

降水量が少ない北見・遠紋地域におけるテンサイの低収問題の検討から、根域深の確保に土地改良の実施が有効なことを示した。

寡雨である同地域でテンサイの収量を増やすには、増肥よりも、有効土層の易効性有効水分量(RAW)が40～60 mmまで拡大することが効果的であり、そのためには有効土層深を火山性土においては30 cm以上、低地土や台地土においては50 cm以上確保する必要があることを示した。また、土地改良施工圃場と未施工における調査から、客土、心土破碎や暗渠の施工により硬盤層出現深は深くなり、その硬度は心土破碎で低下すること、客土により有効土層深は拡大すること、そして、これら改良によりRAWは約14 mm増加することを明らかにした。この値は、有効土層のRAWが、26 mm, 28 mmと限られる低地土や台地土のRAWを40 mm前後に増やす上で有効であり、土地改良を施工

した圃場ではテンサイの収量が網走管内の平均反収以上になることを実規模で明らかにできた。

道央地域の水田転換畑では水田への復元を考慮すると道東と同様の土地改良は困難化もしれないが、土地改良の施工により道央転換畑におけるブロッコリーの高品質安定生産が図られることが期待された。

6-4. まとめ

以上の結果について、ブロッコリーの花蕾部を例に、カルシウム濃度を高めて花蕾腐敗病を抑制し、安定生産を図るための栽培指針として表6-1にまとめた。

まず、カルシウムの吸収を促すために、根がストレスを受けないように排水性の確保が必要である。カルシウムが受動吸収される部位である根端部や、受動吸収に必要な吸収可能水量が確保できるように根域深を確保する事も重要である。そのためには心土破碎、客土、暗渠などの実施が有効である。これらは保水量が

少ない台地土や低地土で特に留意すべきと考えられる。

次に、窒素の過剰施肥は、花蕾のカルシウム濃度を低下させて花蕾腐敗病発病の危険性を高める。したがって、吸収したカルシウムが花蕾に集積するように、窒素供給量を 200 kg-N ha^{-1} 程度にして茎葉生長が過剰にならないようにすべきである。この量は表面の凹凸が少ない M サイズの花蕾を収穫するのに十分な値であり、北海道が定める可給態窒素が少ない圃場における窒素施肥量 (220 kg-N ha^{-1}) と同程度の値である。定植 1 月目の追肥は花蕾の生長を促すが、中位葉の葉柄硝酸濃度が 6 g kg^{-1} 、株重量が $150 \sim 250 \text{ g}$ あれば追肥は不要と判断される。

花蕾のカルシウム濃度を高めるためにカルシウム資材の施用も有効であるが、以上のような土壤改良、根域深の確保、施肥の適正化を行った上で施用すべきである。

表6-1 ブロッコリーの花蕾部カルシウム栄養状態改善のための栽培管理指針

優先順位	事 項	備 考
1	土地 ¹⁾ 改良 排水性の改善 RAWの増加 根域深の確保	暗渠など 客土、心土破碎 ブロッコリー花蕾部における栄養状態改善の場合 台地土、低地土：20～30cm 泥炭土、火山性土：15cm程度
2	N施肥の適正化	ブロッコリー花蕾部における栄養状態改善の場合 ・窒素供給量： $200 \sim 220 \text{ kg ha}^{-1}$ ・定植 1 月目の中位葉葉柄硝酸濃度が 6 g kg^{-1} で株重が $150 \sim 250$ 程度なら無追肥栽培が可能
3	塩基バランスの適正化	石灰資材の土壤施用 石灰資材の葉面散布

第7章 要 約

1996年以後、園芸作物を中心に、カルシウム欠乏の報告が増えてきている。作物体のカルシウム濃度に様々な要因が影響するため、その改善方策も多数報告されている。これら多くの改善方策を組み合わせる効果的な対策をたてるには、発生要因を明らかにし、その中から改善効果が大きく優先すべき対策を示すとともに、特に効果が大きい対策には具体的な改善目標値を設定することが必要である。さらに、欠乏症状が発生する危険性を表す指標項目があることは、対策を考える上で便利である。

そこで、農業試験場に持ち込まれたカルシウム欠乏について発生要因を検討した。内、ブロッコリーのカルシウム欠乏では、発症の危険性を表す指標を設定し、優先すべき欠乏改善対策を検討し、中でも改善効果が大きかった根域深や窒素施肥法について改善目標値を策定した。根域深の改善に土地改良が有効であることをテンサイの低収事例で検討した。これら検討で得られた結果は以下のとおりである。

1. カルシウム欠乏の発生要因解析

1) トマトのチャック果や窓あき果、イチゴの着色不良果（先白果）はカルシウム欠乏に起因することを示した。

2) これら障害は①交換性カリウムやマグネシウム含量、有効態リン酸含量が過剰な圃場、②生育が旺盛な圃場、③地下水位が高く、排水性が劣り、根張りが浅く制限されている圃場で多発していることを明らかにした。

2. ブロッコリーのカルシウム欠乏の抑止対策

1) ブロッコリーの花蕾腐敗病は窒素濃度が高いことに加え、花蕾のカルシウム濃度が低いと発病株率が高くなることを明らかにした。

2) 花蕾のカルシウム濃度を高め、花蕾腐敗病を抑えるには、まず、灌水、易効性有効水分孔隙量が少ない（7 mL/100 mL）土壌では根域深の拡大により吸水量を増やすことが重要で、次に、茎葉生育が過剰とならないように、窒素施肥量の適正化や分肥、易効性有効水分孔隙量が多く（11 mL/100 mL）窒素濃度が高い土壌では根域を深くしすぎないようにし、最後に、土壌の塩基バランスの適正化、カルシウム資材の施用す

べきであった。

3) 花蕾部の窒素とカルシウムの濃度比（Ca/N比）は花蕾腐敗病の発病危険性を表す指標となり、Ca/N比が0.2以上であれば発病株率は10%以下となることを明らかにした。

4) Ca/N比を0.2以上とするには、根域の易効性有効水分量を20 mm以上とすべきこと、そのためには火山性土や泥炭土は15 cm程度、台地土や低地土は20～30 cm程度の根域深が必要なことを明らかにした。

5) 北海道で広く栽培されている品種「緑嶺」について、Mサイズで表面の凹凸が少ない花蕾を得るための窒素供給量（施肥量＋土壌からの窒素供給量）は200 kg-N ha⁻¹であることを明らかにした。この場合、花蕾のCa/N比は0.2程度で、発病株率は約10%以下に抑えられると考えられた。

6) 定植1月目に中位葉の葉柄硝酸濃度が6 g-NO₃ kg⁻¹、定植1月目の地上部重が150～250 g/株を満たしていればMサイズで表面に凹凸がない花蕾を得られる事を明らかにした。

3. 土地改良による土壌物理性改善効果

1) 降水量が少なく、かつ、物理性に劣る土壌が多い網走支庁管内北見・遠紋地域において、テンサイ収量は有効土層の深さ、硬盤層の出現深と硬度の影響を受けていることを示した。

2) テンサイの収量は有効土層の易有効水分量（RAW）が40～60 mmまで増加することを明らかにした。また、RAWが40～60 mmとなる有効土層深は火山性土では30 cm以上、低地土や台地土では50 cm以上であることを示した。

3) 客土、心土破碎や暗渠の施工により硬盤層出現深は深くなり、その硬度は心土破碎で低下すること、客土により有効土層深は拡大すること、これら土地改良により有効土層のRAWは約14 mm増加すること、その結果、施工圃場の収量は地域の平均反収以上になることを示した。

4. 成果の活用状況

これら結果の内、いちごのカルシウム欠乏に関する解析結果は、「きたえくぼ」の「先白果」発表実態と緊急対策」（北海道農業試験会議 成績会議 指導参考

事項（平成9年1月）として障害発生を抑止するために活用された。

ブロッコリーのカルシウム欠乏対策は、「ブロッコリー花蕾腐敗病（新称）の総合防除対策」（北海道農業試験会議 成績会議 普及推進事項 平成13年1月）として、また、テンサイの低収問題は、「北見・遠紋地区におけるてんさいの低収・低糖分の要因解明と改善対策」（北海道農業試験会議 成績会議 普及推進事項 平成18年1月）として、農業改良普及センターにより、その成果が活用されている。

Summary

Improvement of crop growth and quality through correction of nutritional condition in calcium

by
Ryuuichi Nakamura

Calcium deficiency has often reported in Hokkaido districts, especially since 1996. Many studies have been made on this problem, so it may be possible to take a measure against calcium deficiency through gathering these reports. But there are so many factors related to calcium nutrient states in plant, so to take the most efficient measure, it is necessary to examine the factors, especially the most effective one, that induce the deficiency. To show the desirable value in each factor precisely is needed to improve the nutrient status of calcium in plant. And if there are some indicator items to show the calcium nutrient state in plant, it will be helpful to make an effective measure.

The purpose of this study is to systemize measures against calcium deficiency. To achieve this aim, factors that induce calcium deficiency were examined about the physiological disordered tomato fruits, discolored strawberry fruits and head rot in broccoli. In the case of broccoli, the indicator items that show the calcium nutrient states in head were examined, and the desirable value of root zone depth or nitrogen application rate, these were supposed as the limiting factors to improve calcium nutrient state in plant, were settled. To expand root zone area, effect and usefulness of land improvement was clarified.

1. Examination of the factors that induce calcium deficiency

1) It was proved that physiological disordered tomato fruits such as check cracking on pericarp, or discoloration in the fruits end of strawberry were one of the calcium deficiency symptom.

2) It was clarified, fields where the symptoms of like these calcium deficiency often occurred had similar properties, for instance, ① the contents of exchangeable potassium or magnesium and available phosphorus were excess, ② the underground water level was high, drainage of fields were poor, root zone was shallow and limited, and ③ the growth of stem or leaves were excessive.

2. Research to control the calcium concentration in head of broccoli

1) Nitrogen application and low concentration of calcium in head promoted the occurrence of bacterial head rot in broccoli.

2) In order to increase calcium concentration in head and to reduce the occurrence of head rot, irrigation was most useful, and if the relative available water (RAW) content was less than 7 ml/100 ml, root zone area should be expanded. To prevent excess growth, adjusting of nitrogen application rate to the standard rate, or split application of nitrogen was desirable. In the fields where RAW content were as large as 11 ml/100 ml and nitrogen content were high, root zone should be limited to prevent excess growth. Adjusting the exchangeable base content in soil or calcium application was important, lastly.

3) The ratio of nitrogen and calcium concentration in head (Ca/N ratio) indicated the occurrence of head rot in broccoli. If Ca/N ratio was greater than 0.2, frequency of head rot was less than 10%.

4) To make the Ca/N ratio more than 0.2, RAW amount in root zone area should be greater than 20 mm. To make RAW amount more than 20 mm, the depth of root zone should be 15 cm in volcanic ash soil or peat soil, and 20 ~ 30 mm in upland soil or lowland soil.

5) The desirable total nitrogen application rate, this means the sum of nitrogen from fertilizer and soil, was about 200 kg-N ha⁻¹ in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* 'Ryokurei': the most popular variety in Hokkaido district). In

this rate, surface of head was smooth, the diameter of head is about 10 ~ 11 cm, and the Ca/N ratio in head was more than 0.2, so head shape was good enough for commercial use and the frequency of head rot was less than 10%.

6) At the time of one month after transplanting, if nitrate content of petiole in middle position leaf was more than 6 g-NO₃ kg⁻¹ and weight of total leaves and stems was 150 ~ 250 g per stock, the head diameter was more than 10 ~ 11 cm and head surface was smooth enough for commercial use without nitrogen topdressing.

3. The degree of soil physics amelioration by land improvement

1) In Kitami · Enmon area in Abashiri sub-prefecture located in north east Hokkaido district, sugar beet yield was strongly suppressed by water deficiency because of her small rainfall and hard soil characteristics, such as shallow effective depth of soil, hardpan in subsoil.

2) In this area, RAW in effective soil enhanced yields, and maximum yields were gotten when RAW in effective soil was 40 mm. To make the RAW 40 ~ 60 mm, the depth of effective soil should be more than 30 cm in volcanic ash soil, and more than 50 cm in lowland soil or upland soil.

3) Subsoiling or underdrain expanded the depth of hardpan layer, soil dressing expanded the depth of effective soil, and the subsoiling made hardpan layer softer. Consequently these land improvement increased RAW about 14 mm, so the yield of sugar beet was increased more than the areal average yield by these land improvement.

4. Utilization of the results of this study in practice

Both study, examination to control the calcium concentration in head of broccoli, and the research on the effect of land improvement for soil physics and sugar beet yield were summarized in reports. And these reports are now used to reduce the bacterial soft rot in broccoli or to increase the yield of sugar beet in Abashiri sub-prefecture, by agricultural extension center in Hokkaido.

謝

辞

本論文を草するにあたり、北海道大学大学院農学研究院 教授 大崎満博士には、これまでの研究をまとめる機会を与えて頂き、ご指導とご助言、ご校閲を賜った。また、本論文のとりまとめにあたり、北海道大学大学院農学研究院 教授 波多野隆介博士、同 客員教授 信濃卓郎博士、同 助教 渡辺敏裕博士より有益なご助言、ご校閲、ご協力をいただいた。

本研究は、平成10年から12年まで北海道立 花・野菜技術センターにおける試験を中心に、平成8年から20年まで北海道立道南農試、花・野菜技術センター、および、北海道立北見農試で実施した生理障害、低収問題に係る試験や調査結果をとりまとめたものである。元中央農試環境資源部主任研究員 水野直治博士には研究の端緒を与えて頂き、元道南農試土壌肥料科長 元木征治氏、元花・野菜技術センター研究部長 宮浦邦晃博士、元同土壌肥料科長 長谷川進氏、元北見農試技術普及部次長 土屋俊雄氏、中央農試農業環境部長 志賀弘行博士には研究の機会を与えていただいた。

本研究を遂行するにあたり、元中央農試場長 下野勝昭博士、同研究参事 目黒孝司氏、同クリーン農業部副部長 鎌田賢一博士、元道南農試場長 熊谷秀行博士、同園芸環境科長 山上良明氏には広い見地から有益なご助言をいただいた。

本研究実施にあたり、道南農試研究部研究主幹 川岸康司博士、花・野菜技術センター研究部主査 林哲央博士には主にイチゴに関する試験で、花・野菜技術センター場長 中野雅章氏、中央農試企画調整部主査 平井剛博士にはトマトに関する調査で、研究部研究主幹 角野晶大氏、中央農試企画調整部主査 堀田治邦博士、北海道原子力環境センター農業研究科 植野玲一郎氏にはブロッコリーに関する試験で、中央農試作物開発部長 柳沢朗氏、元北見農試畑作園芸科 山田

誠司氏、北見農試研究部 池谷美奈子博士、同 山名利一氏にはテンサイに関する調査を共にさせて頂き、多大なるご協力と、有益なご助言をいただいた。

北海道大学名誉教授 但野利秋博士、元帯広畜産大学教授 菊池晃二博士、元中央農試生産システム部長 稲津脩博士には、絶えず励ましとご助言をいただいた。元花・野菜技術センター場長 前田要博士、元中央農試農業環境部長 能代昌雄博士、元北見農試技術普及部長（現拓殖大学北海道短期大学教授）東田修司博士には有益なご助言とご指導を頂いた。さらに、中央農試農業環境部研究主幹 日笠裕治博士、同 中津智史博士、北海道大学大学院農学研究院技術職員 浦山勝氏には激励を頂き、北見農試研究部研究主幹 三浦周氏、上川農試 研究部 唐星児氏、元道南農試研究部長 赤司和隆博士、上川農業試験場大橋優二氏には多方面のご助力を頂いた。

現地試験の実施には、各地区の農業改良普及センターの関係職員や、農協関係者、および、網走支庁産業振興部の職員各位には、試験・調査圃場の設置、調査へのご協力、試料の提供など、多大なご便宜を頂いた。

圃場試験や試料分析を実施するにあたっては、道南農試、花・野菜技術センター、および、北見農試の各管理科職員、各臨時職員には絶大なるサポートを頂いた。

本研究の取りまとめに際して、中央農試生産研究部長 竹中秀行氏、同研究主幹 丹野久博士にはご激励と多大なご配慮を頂くとともに、同研究主査 稲野一郎博士にはご助言を頂いた。

この他にも、多くの方々の励ましや、協力を得て研究の取りまとめを行うことができた。ここに、記して、各位のご厚情に厚く感謝の意を表するものである。

引用文献

- 1) 日本土壤肥料学会北海道支部編 2010. 北海道農業と土壤肥料2010, p. 19-21. 財団法人 北農会, 札幌
- 2) 丹羽勝久・大淵清忠・菊池晃二 1998. 細密土壌図における沖積畑土壌生産力低下の解析, ペドロジスト, **42**, 107-116.
- 3) 前田要 1986. 転換畑の土壌構造と畑作物の生育反応, 土壌の物理性, **53**, 2-7
- 4) 久保研一 1994. キャベツ根こぶに対する被覆硝酸カルシウムの施用効果, 九州農業研究, **56**, 76
- 5) 近藤史・牛木純・福田豊 2001. ジャガイモ指斑病の発生に及ぼすカルシウムおよびホウ素の影響, 土肥誌, **72**, 230-236
- 6) 山崎浩道・保科久雄 1993. カルシウム栄養条件がトマト青枯病抵抗性品種の発病に及ぼす影響, 土肥誌, **64**, 325-328
- 7) 建部雅子・石原俊幸・石井かおる・米山克彦 1995. 培地の窒素形態および Ca:K 比がハウレンソウとコマツナの硝酸, アスコルビン酸, シュウ酸含有率に与える影響, 土肥誌, **66**, 535-543.
- 8) Lee J.C., Lee J.S. 1982 Effects on ethephon with calcium acetate on maturation of Campbell early grapes (*Vitis labruscana*), The Korean Society for Horticultural Science, **23**, 214-220.
- 9) Marschner, H.1995. Mineral nutrition of higher plants, 2nd Ed. Academic Press (1995).
- 10) 高須栄一・山田文栄・嶋田永生 2006. リン酸石膏の施用が土壌の化学性とコマツナの Ca 吸収に及ぼす影響, 土肥誌, **77**, 1-7
- 11) 佐藤喬・高橋正樹・新毛晴夫・小野剛志 2004. 岩手県中南部におけるリンドウ圃場の土壌環境実態と石灰質資材施用効果, 土肥誌, **75**, 37-44.
- 12) 加藤徹・児玉英智 1973. ハウス果菜の生理障害発生防止に関する研究 (第3報) トマトの窓あき果発生に関する研究, 高知大研報, **22**, 13, 115-123.
- 13) 吉田清志・村上敏文・梅宮善章・山田和義・内津正直 2005. ハクサイ芯腐れ症発生の環境要因の解明と防止技術の開発, 長野県中信農業試験場報告, **17**, 101-111.
- 14) 木村和彦・真鍋純・渡辺勇 1993. ニホンナシ '新高' の生理障害に関する研究 (第2報) 水ナシ果発生に及ぼす気象条件と果実内カルシウムの関係, 高知農技セ報, **2**, 65-74.
- 15) 吉倉惇一郎・二見敬三・桑名建夫・青山喜典 1987. シュンギクの心枯れ症の発生要因と対策, 兵庫県農総センター研報, **35**, 75-80.
- 16) 小野寺政行・西川政信・高栗仁子・鎌田賢一 1994. シュンギクの心枯れ症とその軽減対策, 道農試集報, **67**, 43-57.
- 17) 森本博全・嶋田永生 2001. トマトの隔離栽培における尻腐れ果発生に及ぼす施用窒素形態の影響, 土肥誌, **72** (4), 489-498.
- 18) 陳文孝・上本俊平 1977. 蔬菜のカルシウム吸収に関する研究 (第2報), 園学誌, **45**, 362-368.
- 19) 池田健一郎・清本なぎさ・田布施尚子 1996. ソラマメのしみ症発生に及ぼす Ca 等の影響, 土肥誌, **70** (3), 283-290.
- 20) 二見敬三・吉倉惇一郎・桑名建夫・青山喜典 1986. シュンギクの心枯れ症の発生要因と対策, 土肥誌, **57**, 411-413.
- 21) Gerard C.J., Hipp B.W. 1968, Blossom-end rot of 'Chico' and 'Chica Grande' tomatoes, Proc. Ame. Soc. Hortic. Sci., **93**, 521-531.
- 22) 李光植・喻景権・松井佳久 1991. 果実収穫開始期の水耕栽培トマトにおける無機元素の器官別・節位別分布, 土肥誌, **62**, 461-468.
- 23) 北海道農政部編 2010. 北海道施肥ガイド2010, p.33-188. 北海道, 札幌
- 24) 豆塚茂実・山本幸彦・柴戸靖志 1990. 完熟型トマトの異常果発生防止に関する研究 第1報 育苗時の栽培液温と窓あき果, 福岡農総試研報, **B-10**, 1-6.
- 25) 深沢郁男・和田悦郎・木村栄・安川俊彦・栃木博美・本島俊明・石川孝一・赤城博 1993. トマトの窓あき果の発生要因について, 栃木県農試研報, **40**, 13-27.
- 26) 吉田徹志・土田英臣・馬西清徳 1998. 灌水条件と窒素施用量がトマト果実のカルシウム, 窒素集積に及ぼす影響と尻腐れ果発生との関係, 土肥誌, **69**, 626-632.
- 27) 北海道立中央農業試験場編・土壌および作物栄養

- の診断基準—分析法—(1992) 1992. p.104 - p.114, 北海道農政部農業改良課.
- 28) 大林弘道 1968. 深耕が夏秋トマトの生育や葉の水ポテンシャルに及ぼす影響, 愛媛県農試研報, **28**, 31 - 35.
 - 29) 前川寛之 1992. イチゴ品種“とよのか”の着色に関する研究(第1報)着色特性の品種間差異および“とよのか”の果実成熟に伴う着色様相の変化, 奈良農試研報, **23**, 13 - 20.
 - 30) 浦田丈一・田中龍臣・松尾孝則 1991. イチゴ品種‘とよのか’の果実着色に及ぼす環境要因の影響, 佐賀農試研報, **27**, 61 - 72.
 - 31) 吉村昭信 1995. イチゴ“とよのか”の着色に及ぼす環境要因の影響 第1報 被覆資材の紫外線透過特性と果実の着色の関係, 奈良農試研報, **26**, 31 - 38.
 - 32) Eshghi, S., Jamali, B. 2009, Leaf and fruit mineral composition and quality in relation to production of malformed strawberry fruits, Horticulture Environment and Biotechnology, **50**, 397 - 400.
 - 33) Buchter-Weisbrodt, H 1991. Albinism in strawberry. Cause of white-fruitedness in ‘Elsanta’. Obstbau, **16**, 212 - 213.
 - 34) Govindaswamy Sudha. Gokare Aswathanarayana Ravishankar 2003. The role of calcium channels in anthocyanin production in callus cultures of *Daucus carota*, Plant Growth Regulation, **40**, 163 - 169.
 - 35) Vitrac, X.; Larrorde, F.; Krisa, S.; Decendit, A.; Deffieux, G.; Merillon, J.M. 2000. Sugar sensing and Ca^{2+} -calmodulin requirement in vitis Vinisera cells producing anthocyanins. Phytochemistry, **53**, 659 - 665.
 - 36) Smith, B. J. 2009. Influence of nitrogen, phosphorus, and potassium on the severity of strawberry anthracnose crown rot, Acta Horticulture, **842**, 235 - 238.
 - 37) 堀江弘道 1998. 加除式農業総覧, 病害虫診断防除法, ハナヤサイ病気, p 7 - 9, 農村漁村文化協会, 東京
 - 38) Hildebrand, P.D. 1989. Surfactant-like characteristics and identity of bacteria associated with broccoli head rot in Atlantic Canada. Can. J. Plant Pathol., **11**, 205 - 214.
 - 39) Cui, X., Harling, R., Mutch, P., Darling, D. 2005. Identification of N-3-hydroxyoctanoyl-homoserine lactone production in *Pseudomonas fluorescens* 5064, pathogenic to broccoli, and controlling biosurfactant production by quorum sensing, Eur. J. Plant. Pathol., **111**, 297 - 308.
 - 40) Hildebrand, P. D., Laycock, M. V. and Thibault, P. 1990. Biosurfactant production by pectolytic *fluorescens pseudomonas* and its role in broccoli head rot. Can. J. Plant. Pathol., **12**, 334.
 - 41) 島崎 豊・川崎智子・野口 篤 1993. 夏期における雨よけトンネル栽培によるブロッコリー軟腐病の発生低減効果, 関東東山病害虫研究会年報, **40**, 69 - 71.
 - 42) Canady, C. H., Wyatt, J. E. and Mullins, J. A. 1991. Resistance in broccoli bacterial soft rot caused by *Pseudomonas marginalis* and *fluorescens Pseudomonas* species. Plant Dis., **75**, 715 - 720.
 - 43) Canady, C. H., Wyatt J. E. 1992. Effects of nitrogen fertilization on bacterial soft rot in two broccoli cultivars, one resistant and one susceptible to the disease. Plant Disease, **76**, 989 - 991.
 - 44) Cui Xiao Hui, Harling, R. 2006. Evaluation of bacterial antagonists for biological control of broccoli head rot caused by *Pseudomonas fluorescens*. Phytopathology, **96**, 408 - 416.
 - 45) 川岸康司・中本洋・塩沢耕二・黒島学 1995. 夏秋どりブロッコリーの栽培安定化技術. 平成6年度研究成果情報 北海道農業, p.70 - 71. 北海道農業研究センター, 札幌,
 - 46) Corden, M.E. 1965. Influence of calcium nutrition on *Fusarium* wilt of tomato and polygalacturonase activity. Phytopathology, **55**, 222 - 224.
 - 47) 川合貴雄・小野芳郎・内藤恭典 1993. リン酸過剰による高温下でのダイコンの葉枯れ障害. 岡山県農試研報, **11**, 47 - 56.
 - 48) 平岡潔志・米山忠克 1990. 農業資材多投に伴う作物栄養学的諸問題 3. N, P, K の過剰と生理機能. 土肥誌, **61**, 315 - 322.
 - 49) 伊藤嘉明 1984. キクの栄養診断. 福岡農総試研報, **B-4**, 97 - 100.
 - 50) 川合貴雄・小野芳郎・内藤恭典 1993. リン酸過剰による高温下でのダイコン葉枯れ障害, 岡山県農試研報告, **11**, 47 - 56.
 - 51) 佐々井兼人 1993. リン酸過剰施与が園芸作物の生育および品質に及ぼす影響, 宮城県農業坦懐大学

- 学術報告, **41**, 1 - 11.
- 52) 猿田正暁・高橋哲夫 1984. リン酸の過剰施用によるキャベツの異常症状, 群馬県園試報, **12**, 56 - 58.
 - 53) 鈴木則夫・山田金一・高橋和彦・戸田幹彦・中村新市・水口長八 1983. 温室メロンの養分吸収特性とリン酸過剰害に関する研究, 静岡農試研報, **28**, 43 - 50.
 - 54) 吉田徹志・土田英臣・馬西清徳 1997. 灌水条件と窒素施用量がトマト果実のカルシウム, 窒素集積に及ぼす影響と尻腐れ果発生との関係, **68**, 178 - 180.
 - 55) 宇井睦・高野泰吉 1995. 果実肥大期におけるガク片除去と果房送風, 袋がけが水耕トマトの尻ぐされ発生に及ぼす影響. 生物環境調節, **33**, 15 - 21.
 - 56) 小沢聖 1998. 下層土に伸張した根の吸水・吸肥の調節, 東北農試研報, **93**, 53 - 100.
 - 57) 北海道開発局開発土木研究所土壤保全研究室 1993. 北海道の農耕地土壌の物理性とくに水分保持特性 (北海道の畑地かんがいのための土地資源緒元)
 - 58) 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会 北海道野菜地図 (北海道農業協同組合中央会, 札幌)
 - 59) 岩田正利・歌田明子 1967. 窒素供給期間の差異が数種そ菜の生育・収量に及ぼす影響, 園学誌, **37**, 57 - 66.
 - 60) Beverly, R.B., Jarrell, W.M. and Letey, Jr, J. 1986. A nitrogen and water response surface for sprinkler-irrigated broccoli. *Agro. J.* **78**, 91 - 94.
 - 61) 吉田俊幸・松崎康範・三部一敬 1983, てん菜の栽培および環境条件に対する反応の品種間差異 (3) 直播および移植栽培を含む播種時期に対する反応, てん菜研究会報, **25**, 164 - 172
 - 62) 島本義也 1989, テンサイの収量を支配する要因 2. 土壌要因, テンサイ研究会報, **31**, 52 - 57
 - 63) 野村信史 1977. 農作物に対する異常気象の影響 昭和 51 年の網走管内の実態から, 北見農試資料, **2**, 68 - 72.
 - 64) 梶山努・大波正寿・松原一寛・吉田俊幸 1994. 平成 5 年 6 月の多雨によるテンサイの湿害調査, てん菜研究会報, **36**, 116 - 121.
 - 65) 林茂樹・伊藤博武・吉田穂積・山崎耕字・小松輝行 2004. 土壌タイプによるテンサイ根系分布の違いが葉の萎れと収量性に及ぼす影響. 土肥誌, **75**, 659 - 666.
 - 66) 土屋一成・塩崎尚郎 1983. テンサイの湿害とその発生要因. てん菜研究会報, **25**, 69 - 74.
 - 67) 大島栄司 1974. 畑作物の水の問題一とくに, てん菜の蒸散を中心に. 北農試研資料 **1**, 17 - 38.
 - 68) 竹内晴信・宮脇忠 1994. 有底枠における数種畑作物の水分消費特性. 土壌の物理性 **70**, 3 - 12.
 - 69) 北海道開発局農業水産部 農業調査課農業開発課 1987. 畑地かんがい技術資料 水による生産反応.
 - 70) 農林省農政局編 1968. 畑地かんがい立地区分調査 気象資料, 68 - 69. 農地局
 - 71) 丹羽勝久・大淵清忠・菊池晃二 1998. 細密土壌図による沖積畑土壌生産力低下の解析. ペトロジスト, **42**, 107 - 116.
 - 72) 金野隆光・西旨昭・宮沢数雄 1973. 土壌別・畑作物の水利用. 北農試研資料, 81 - 103.
 - 73) Krishnamurthy, L., O. Ito and C. Johansen, 1996. Genotypic differences in root growth dynamics and its implications for drought resistance in Chickpea. *JIRCAS Agriculture Series* **3**, pp: 235 - 250.
 - 74) 木下彰 1973. 土壌の水分特性と水管理: 北農試研報, **1**, 55 - 80.
 - 75) Allen, R.G., Pereira, L., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements FAO Irrigation and Drainage Paper (FAO) **56**, 1 - 300.
 - 76) 三浦健志・奥野林太郎 1993 a. ペンマン式による蒸発散位計算方法の詳細. 農土論集, **164**, 157 - 163.
 - 77) 三浦健志・奥野林太郎 1993 b. ペンマン式の計算を容易にするための工夫と提案. 農土論集, **164**, 165 - 170.
 - 78) 志賀弘行 2003. アメダス観測地点における最低気温を用いた水蒸気圧の推定, 道立農試集報, **84**, 99 - 100.
 - 79) 網走支庁中部耕地出張所 2004. 道営畑地灌漑推進モデルほ場設置事業 留辺蘂地区 畑かんがい手引き書, p. 27.
 - 80) 金森秀行 1995. 熱帯転換畑の土壌水分動態における耕盤層の影響 フィリピンでの転換畑における作物水分消費の研究, 農土論文集, **175**, 95 - 108.
 - 81) 松屋義克・黒島忠司・野本陽一 1995. 粘質土壌の基盤整備水田におけるパンプレカによる下層土の物理性改善, 徳島農試研報, **32**, 35 - 39.

- 82) 岩間秀炬・石井和夫 1974. 重粘性土壌に対する砂客土の易耕性改善効果, 土壌の物理性, **30**, 7-14.

ISSN 2186-1064

北海道立総合研究機構 農業試験場報告 第130号

カルシウム栄養状態の改善による
作物生育とその品質の向上策

著 者 中 村 隆 一

平成23年10月 発行

発行者 北海道立総合研究機構 花・野菜技術センター
073-0026 北海道滝川市東滝川 735 番地

印刷所 広小路印刷株式会社
