

水耕栽培ホウレンソウの内容成分改善に関する研究

Studies on Improvement of Constituents Related to Spinach Quality in Hydroponics

安田雅晴・越川兼行・鈴木郁子*・下畑次夫**

Masaharu YASUDA, Kaneyuki KOSHIKAWA, Ikuko SUZUKI and Tsugio SHIMOHATA

要約: 水耕栽培ホウレンソウにおいて、機能性成分であるアスコルビン酸、有害成分である硝酸態窒素、シュウ酸の消長を明らかにし、各成分を改善させる栽培方法を検討した。ホウレンソウの内容成分は、生育ステージや葉位により含有率が異なり、新葉ほどアスコルビン酸含有率が高く、硝酸態窒素含有率及びシュウ酸含有率が低い特徴がある。また、給液回数等の栽培管理によっても影響を受け、給液回数を葉長15cm程度になってから制限し、更に、収穫約1週間前から培養液の窒素形態をNH₄-Nのみとすることにより、アスコルビン酸含有率を高める一方、シュウ酸含有率を高めず、硝酸態窒素含有率を低減することが可能である。

キーワード: ホウレンソウ、水耕栽培、アスコルビン酸、硝酸、シュウ酸

結言

ホウレンソウは、栄養価の高い野菜として知られ、日本における栽培は盛んである。岐阜県においても、飛騨地域の夏ホウレンソウ、岐阜地域の冬春ホウレンソウとして栽培され、2001年岐阜県野菜作付面積で第1位の品目となっており、全国においても第6位の生産量となっている⁵⁾。

また、近年、消費者の健康志向から、野菜等に含まれる機能性成分への関心が高まっている。ホウレンソウには、抗酸化機能をもつアスコルビン酸(還元型ビタミンC)が多く含まれている。一方、ホウレンソウなどのアカザ科の野菜には、尿路結石の原因となり、カルシウムの吸収を阻害するシュウ酸が多く含まれており、低減することが望まれている⁴⁾。また、硝酸態窒素は植物の窒素源の1つであり、植物体内で、有機窒素化合物に合成されるが、硝酸態窒素のまま人体内に吸収されると発ガン物質ニトロソアミンが生成される。人体内に摂取される硝酸態窒素の50~90%が野菜に由来していることから、ヨーロッパでは基準値が設けられるなど、特に蓄積の多い葉菜類において、その低減が急務となっている²⁾。

そこで、水耕栽培において、アスコルビン酸、硝酸態窒素、シュウ酸の消長を明らかにし、各内容成分を改善させる栽培方法を検討したので報告する。

1. ホウレンソウにおける各内容成分の特徴

[目的]

ホウレンソウの内容成分含有率の品種間差、葉位別の内容成分含有率、生育ステージ毎の内容成分の消長を明

らかにし、各内容成分を向上させる栽培方法の開発の資とする。

[材料及び方法]

水耕栽培はサンスイ社製 NFT 方式で行った。栽培システムは、12枚の栽培トレイ(0.38 m²・32穴/トレイ)と100Lの培養液タンクで1系統とした。培地は水耕用ウレタン培地を用いて、3本/穴の苗立ち数となるよう培地に播種し、間引きした。3本/穴のホウレンソウを1単位として生育調査した。培養液は園試処方培養液を用い、EC2.5mS/cmでEC制御した。給液管理は、4時~18時まで、30分毎に5分間の給液(28回/日)とした。

アスコルビン酸含有率は、生試料30gにメタリン酸溶液を加えてホモジナイザーで破碎し、120mlに定容して、MERCK社製RQフレックスで測定した。

硝酸態窒素含有率は、生試料30gに水を加え、ホモジナイザーで破碎し、150mlに定容して、RQフレックスで硝酸として測定後、算出した。

シュウ酸含有率は、生試料30gに水を加え、ホモジナイザーで破碎し、150mlに定容して、キャピラリー電気泳動で測定した。シュウ酸には、水溶性シュウ酸と不溶性シュウ酸があるが、本報告では水溶性シュウ酸の値を示す。

(試験1 品種比較)

試験には、表1に示す29品種を供した。2001年10月26日に播種し、葉長25cmを目安に収穫し、葉身、葉柄別にアスコルビン酸含有率、硝酸態窒素含有率、シュウ酸含有率を測定した。

* 現在、生物産業技術研究所

** 現在、病害虫防除所

(試験2 収穫適期における葉位別比較)

供試品種は「アクティブ」とした。葉全体のアスコルビン酸含有率及び硝酸態窒素含有率は、1999年12月9日に播種し、2000年2月14日に収穫した試料で、シュウ酸含有率は2002年4月11日播種、5月16日収穫の試料で測定した。また、葉身についても、2002年4月11日播種、5月16日収穫の試料で測定した。葉位は、最外葉を第1葉として、第1～2葉、第3～4葉、第5～6葉、第7～8葉、第9葉以上に選別した。

(試験3 生育ステージ毎の内容成分の消長)

供試品種は「アクティブ」とした。2002年12月4日に播種し、播種49日後、56日後、61日後、65日後、68日後、72日後に収穫し、葉身、葉柄別にアスコルビン酸含有率、硝酸態窒素含有率、シュウ酸含有率を測定した。また、第1～2葉、第3～4葉、第5～6葉別にも採取し、葉身のみアスコルビン酸含有率、硝酸態窒素含有率、シュウ酸含有率を測定した。

[結果及び考察]

(試験1 品種比較)

29品種の内容成分含有率を表1に、統計分析結果を表2及び表3に示した。

アスコルビン酸含有率の高い品種は「東照」「ミンスターランド」「ラルゴ」、低い品種は「アトラス」「豊葉」「パンドラ」で、最大値は最小値の1.6倍程度であった。硝酸態窒素含有率の高い品種は「トライ」「アールフォー」「エイトマン」、低い品種は「ピレネー」「アンナ」「プラトン」で最大値は最小値の1.8倍程度であった。シュウ酸含有率の高い品種は「ピレネー」「東照」「ミリオン」、低い品種は「万葉」「新日本」「マルス」で、最大値は最小値の1.8倍程度であった。アスコルビン酸含有率が高く、硝酸態窒素及びシュウ酸含有率が低い、3内容成分とも優れている品種はなかった。比較的優れている品種としては「プラトン」「新日本」であった。

また、29品種における各内容成分含有率の変動係数は、11～16%の範囲内で、ともに小さかった。各成分の葉身含有率と葉柄含有率との相関係数は、アスコルビン酸が

表1 内容成分含有率の品種比較 (mg/100gFW)

品 種	収穫日	アスコルビン酸			硝酸態窒素			シュウ酸		
		葉身	葉柄	全体	葉身	葉柄	全体	葉身	葉柄	全体
アクティブ	12/14	59	16	42	102	266	167	725	203	518
アトラス	12/8	53	16	35	95	230	159	834	272	569
アトランタ	12/7	56	15	36	100	205	151	781	218	506
アールフォー	12/7	58	14	37	93	281	183	840	208	539
アンナ	12/10	68	20	46	89	140	112	922	200	601
エイトマン	12/13	72	20	47	82	286	182	901	228	572
オーライ	12/13	70	19	46	78	267	167	765	239	517
サンピア	12/10	52	15	37	98	275	170	908	217	627
次郎丸	12/8	61	17	40	74	258	161	771	186	495
新日本	12/13	69	18	46	88	243	157	593	210	421
ソロモン	12/8	56	17	38	65	279	165	824	217	542
タイタン	12/14	53	23	41	114	275	176	804	257	593
ディンプル	12/10	60	17	40	82	221	146	796	177	512
東照	12/10	73	16	50	93	285	172	942	254	660
トライ	12/7	61	16	41	100	317	196	736	173	486
日本	12/8	65	18	44	89	201	140	799	177	520
バレード	12/8	57	17	39	104	249	169	810	217	543
パンドラ	12/13	52	17	35	91	248	167	812	190	514
ピレネー	12/14	61	16	44	83	154	110	927	226	667
プラトン	12/10	67	17	46	78	204	131	735	224	519
豊葉	12/10	47	20	35	96	210	147	741	159	481
まほろば	12/13	57	17	41	86	248	153	871	242	607
マルス	12/10	68	17	43	93	270	178	687	216	459
万葉	12/7	55	17	36	127	238	180	607	126	374
ミストラル	12/13	58	18	41	84	219	141	838	218	575
ミリオン	12/17	60	19	44	90	254	152	916	225	652
ミンスターランド	12/14	71	17	49	95	279	171	715	255	526
ラルゴ	12/14	76	17	48	101	242	168	800	234	531
リード	12/10	53	14	36	84	279	168	831	175	548

0.22、硝酸態窒素が0.09、シュウ酸は0.39でいずれも小さかった。アスコルビン酸含有率と硝酸態窒素含有率との相関、アスコルビン酸含有率とシュウ酸含有率との相関、硝酸態窒素含有率とシュウ酸含有率との相関も低く、一定の傾向を認めなかった。

表2 各内容成分の統計値 (29品種、mg/100gFW)

	アスコルビン酸	硝酸態窒素	シュウ酸
平均値	61/17	91/246	801/212
最大値	76/23	127/317	942/272
最小値	47/14	65/140	593/126
変動係数(%)	12/12	13/16	11/15
葉身・葉柄の相関係数	0.22	0.09	0.39

注)各項目の「/」は左側が葉身、右側が葉柄

表3 内容成分間の相関係数 (29品種)

	アスコルビン酸	硝酸態窒素	シュウ酸
アスコルビン酸		-0.23	-0.03
硝酸態窒素	-0.16		-0.31
シュウ酸	0.16	0.13	

注)表の右上が葉身、左下が葉柄での比較値

(試験2 収穫適期における葉位別比較)

葉位別の内容成分の測定結果を図1に、葉位別の葉身の結果を図2に示した。また、収穫時の各葉位の葉長、葉身比を表4に示した。

葉位別のアスコルビン酸含有率は、内葉ほど高くなり、第9葉以上は、第1～2葉の約4倍であった。硝酸態窒素含有率は、最大葉であった第5～6葉で最も高く、第5～6葉から離れた葉位ほど含有率は低くなった。シュウ酸含有率は、内葉ほど低くなり、第9葉以上は、第1～2葉の1/2倍であった。

収穫適期のハウレンソウは、最大葉から外側の葉については、アスコルビン酸含有率が低く、硝酸態窒素含有率及びシュウ酸含有率が高く、3内容成分ともに劣っており、内葉ほど優れる傾向であった。

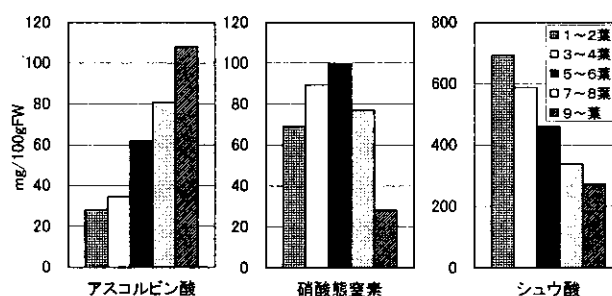


図1 収穫適期の葉位別内容成分含有率 (葉全体)

注)アスコルビン酸、硝酸態窒素：2000年2月14日収穫
シュウ酸：2002年5月16日収穫

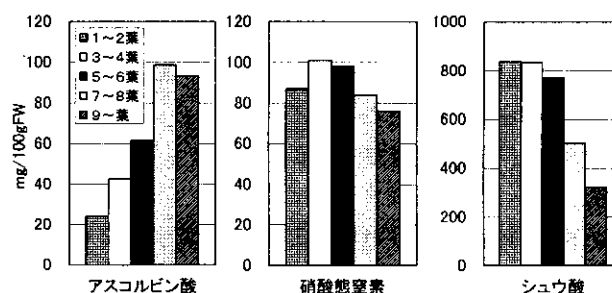


図2 収穫適期の葉位別内容成分含有率 (葉身)

注)2002年5月16日収穫

表4 収穫適期の葉位別葉長及び葉身比

葉位	2000/2/14収穫		2002/5/16収穫	
	葉長(cm)	葉身比(%)	葉長(cm)	葉身比(%)
1～2葉	13.2	52.0	16.6	51.1
3～4葉	18.0	45.9	25.6	40.8
5～6葉	25.1	40.2	26.9	41.6
7～8葉	18.7	46.9	20.8	43.4
9葉以上	7.2	77.1	10.3	50.6

注)葉身比：葉身長÷葉長

(試験3 生育時期毎の内容成分の消長)

アスコルビン酸含有率を図3に、硝酸態窒素含有率を図4に、シュウ酸含有率を図5に示した。

アスコルビン酸含有率は、栽培日数の経過とともに、葉身・葉柄部ともに低くなった。硝酸態窒素含有率は、アスコルビン酸含有率とは逆に、栽培日数の経過とともに高くなった。シュウ酸含有率は、葉柄で栽培日数の経過とともに低くなったが、葉身では、49日後が最も高かったが、以後は一定の傾向はなかった。株全体のシュウ酸含有率は、65日後(葉長20cm程度)までは低下傾向で、その後の変動は小さかった。アスコルビン酸含有率及び硝酸態窒素含有率は早期収穫が優れ、シュウ酸は葉長20cm

以後の収穫で優れていた。

第1～2葉の内容成分の消長を表5に、第3～4葉の内容成分の消長を表6に、第5～6葉の内容成分の消長を表7に示した。

第1～2葉は、播種56～61日後に葉長の伸長が止まった。アスコルビン酸含有率は、栽培日数の経過ともに低くなった。硝酸態窒素含有率は、49日後から56日後にかけて高まったが以後は約100mg/100gFWで一定であった。シュウ酸は、61日後の910mg/100gFWまで栽培日数の経過ともに高まり、以後は低くなった。

第3～4葉は、播種61日後に葉長の伸長が止まった。アスコルビン酸含有率、硝酸態窒素含有率及びシュウ酸含有率ともに、第1～2葉とほぼ同じ傾向であった。硝酸態窒素含有率は、56日後まで高まり、以後は97～116mg/100gFWで増減した。シュウ酸含有率は61日後に705mg/100gFWで最大となった。

第5～6葉は、調査終了の播種72日後までに伸長を続けた。アスコルビン酸含有率は、第1～2葉、第3～4葉と同じ傾向であり、硝酸態窒素含有率は、65日後まで高まったが以後はほぼ120mg/100gFWで一定であった。シュウ酸は、61日後の477mg/100gFWまで高まった以後はほぼ一定であった。

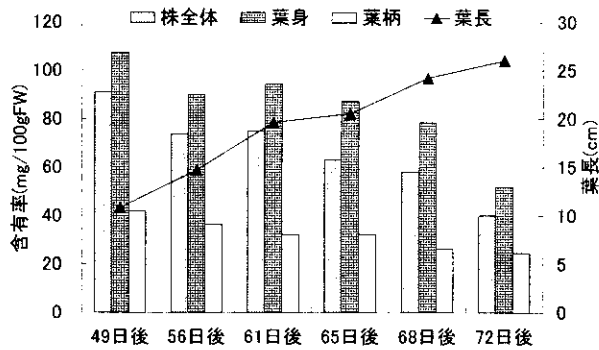


図3 生育ステージ毎のアスコルビン酸含有率

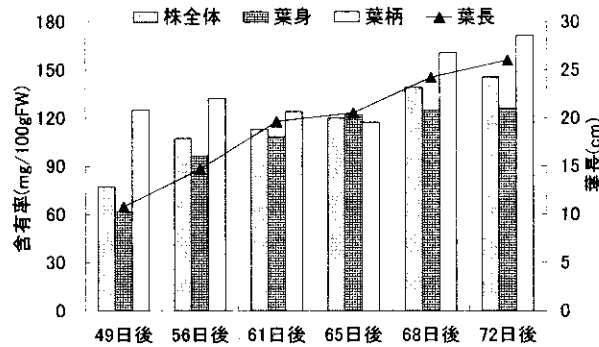


図4 生育ステージ毎の硝酸態窒素含有率

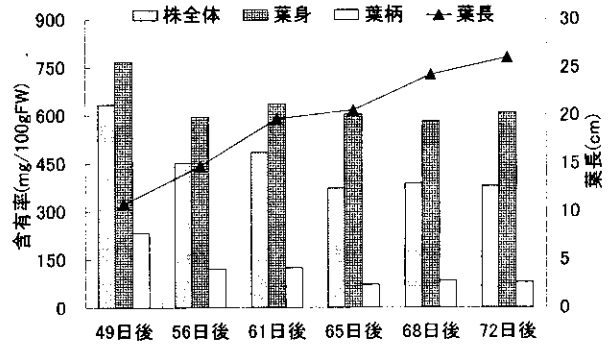


図5 生育ステージ毎のシュウ酸含有率

表5 第1～2葉の葉身における内容成分の消長

播種後 日数	葉長 (cm)	内容成分含有率 (mg/100gFW)		
		アスコルビン酸	硝酸態窒素	シュウ酸
49日後	10.2	89	49	611
56日後	11.6	65	99	870
61日後	12.2	50	100	910
65日後	12.3	42	100	811
68日後	12.3	34	94	867
72日後	11.9	30	100	765

表6 第3～4葉の葉身における内容成分の消長

播種後 日数	葉長 (cm)	内容成分含有率 (mg/100gFW)		
		アスコルビン酸	硝酸態窒素	シュウ酸
49日後	8.8	121	69	655
56日後	14.4	103	98	574
61日後	18.0	84	115	705
65日後	18.2	73	97	540
68日後	17.9	56	116	577
72日後	18.2	39	99	477

表7 第5～6葉の葉身における内容成分の消長

播種後 日数	葉長 (cm)	内容成分含有率 (mg/100gFW)		
		アスコルビン酸	硝酸態窒素	シュウ酸
49日後	4.7	159	45	413
56日後	8.4	122	66	370
61日後	14.4	123	101	477
65日後	19.4	111	125	499
68日後	23.3	87	118	463
72日後	25.6	75	128	484

アスコルビン酸含有率は、出葉時が最も高く、以後はどの部位でも、栽培日数の経過ともに低くなると考えられた。硝酸態窒素含有率は、葉の伸長が止まるまで高まり、以後は一定の含有率を保つと考えられ、シュウ酸含有率は硝酸態窒素含有率と同じく葉の伸長が止まるまで

高まったが、以後は低下すると考えられた。また、硝酸態窒素含有率及びシュウ酸含有率には、葉位により含有率に上限があり、硝酸態窒素含有率は内葉ほど、シュウ酸含有率は外葉ほど上限値が高いと考えられた。

2. ホウレンソウの内容成分を向上させる栽培方法の開発

[目的]

苗立ち数、培養液の窒素組成、給液方法が内容成分に与える影響を明らかにし、内容成分を向上させる水耕栽培技術を開発する。

[材料及び方法]

栽培システム及び測定方法は「1. ホウレンソウにおける各内容成分の特徴」と同じである。

(試験4 苗立ち数の影響)

1穴あたりの苗立ち数を1本、3本、5本、8本として、栽植密度の異なる4試験区を設定し、内容成分への影響を検討した。供試品種は「アクティブ」及び「プラトン」とした。2002年10月2日に播種し、11月6日に同時収穫し、株全体、葉身及び葉柄別にアスコルビン酸含有率、硝酸態窒素含有率及びシュウ酸含有率を測定した。

(試験5 培養液の窒素形態の影響)

培養液に含まれる窒素形態の組成比率 ($\text{NO}_3\text{-N} : \text{NH}_4\text{-N}$) を、慣行栽培で用いられている園試処方 (16:1.3) を対照として、10:3、1:1、0:1の試験区を設定し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の比率を高めることによる内容成分への影響を検討した。供試品種は「アフリカン」及び「サンライト」とした。1998年6月1日に播種し、7月7日に同時収穫し、株全体の硝酸態窒素含有率及びシュウ酸含有率を測定した。

(試験6 給液回数の影響)

培養液の給液回数を制限することによる水ストレスの付加が内容成分へ及ぼす影響を検討した。4:00~18:00の間、慣行栽培の28回に対して、葉長10cm時から6回に制限した制限Ⅰ区、葉長15cm時から6回に制限した制限Ⅱ区、葉長15cm時から3日間のみ4回に制限した制限Ⅲ区を設定した。供試品種は「タイタン」及び「プラトン」とした。1999年9月6日に播種し、改良Ⅰ区は10月6日から収穫まで、改良Ⅱ区は10月11日から収穫まで、改良Ⅲ区は10月11日~13日の間、給液を制限した。給液制限開始時と同時収穫時にアスコルビン酸含有率、硝酸態窒素含有率を測定した。「プラトン」は10月18日に、「タイタン」は10月19日に同時収穫した。

(試験7 内容成分の改善を図る体系的栽培法の検討)

試験2と試験3を組み合わせた栽培方法を検討した。

慣行区に対して、改良区は葉長15cm程度時までは慣行区と同じ方法で栽培し、葉長15cm時から給液制限を開始した。葉長22cm程度時(収穫約1週間前)に園試処方培養液から培養液の窒素形態が $\text{NH}_4\text{-N}$ のみ ($\text{NO}_3\text{-N} : \text{NH}_4\text{-N} = 0 : 1$)の培養液に置換し栽培した。供試品種は「アクティブ」「プラトン」とした。12月播種の冬作と6月播種の夏作で検討した。

冬作は、1999年12月9日に播種した。改良区は2000年1月28日から収穫まで1日当たり4回の給液制限した。培養液置換は2月9日に行った。収穫は葉長25cmを目安とし、慣行区は2月9日に、改良区は2月18日及び23日に収穫し、アスコルビン酸含有率、硝酸態窒素含有率を測定した。また、1月28日及び2月9日の栽培途中にも測定した。

夏作は、2000年6月14日に播種した。改良区は2000年7月12日から収穫まで1日当たり6回の給液制限した。培養液置換は7月18日に行った。収穫は葉長25cmを目安とし、慣行区は7月21日に、改良区は7月25日に収穫し、アスコルビン酸含有率、硝酸態窒素及びシュウ酸含有率を測定した。

[結果及び考察]

(試験4 苗立ち数の影響)

収穫時の生育調査の結果を表8に示した。1穴あたりの苗立ち数が多くなるほど、1穴あたりの重量(株重)は重かったが、葉長が長く、葉幅が狭く、葉色値が小さいなど、明らかに徒長傾向であった。

株全体内容成分含有率を表9に示した。アスコルビン酸含有率及びシュウ酸含有率は、苗立ち数が5本までは、苗立ち数が多いほど含有率が低下したが、5本と8本では大差なかった。株全体の硝酸態窒素含有率は、苗立ち数が5本までは多くなるほど増加し、5本と8本では大差なかった。

葉身、葉柄別の内容成分含有率を図6に示した。アスコルビン酸含有率、硝酸態窒素含有率、シュウ酸含有率ともに株全体と同じ傾向であった。

苗立ち数が多くなるとアスコルビン酸含有率及びシュウ酸含有率が低くなり、硝酸態窒素含有率が高くなる傾向は、葉身と葉柄の各々の部位でその傾向を示していることに加え、苗立ち数が多くなることにより、葉身比が低くなるため、葉柄の内容成分含有率の特徴(葉身に比べ、アスコルビン酸含有率及びシュウ酸含有率が低く、硝酸態窒素含有率が高い)が株全体の内容成分含有率に反映したと考えられた。

(試験5 培養液の窒素形態の影響)

結果を表10に示した。0:1区については、栽培途中で生育が停止したため、栽培途中の葉長及び硝酸態窒素含

表8 苗立ち数と収穫時生育調査

品種	試験区	株重 (g/穴)	本数 (/穴)	葉数 (/本)	葉長 (cm)	葉柄長 (cm)	葉身比%		葉幅 (cm)	葉色 SPAD
							長	重		
サンピア	1本	11.3	1.0	10.0	21.5	10.6	50.8	68.0	6.3	39.1
	3本	19.6	3.0	8.6	25.4	14.6	42.6	59.6	5.8	34.8
	5本	27.6	5.1	7.7	26.5	16.4	38.2	56.1	5.1	32.0
	8本	29.8	6.8	6.8	26.4	16.8	36.7	55.0	4.6	31.8
オーライ	1本	7.9	1.0	9.6	21.0	11.0	47.6	64.3	5.5	38.1
	3本	16.6	3.0	8.0	25.0	15.0	40.1	56.3	5.5	31.2
	5本	21.7	5.1	7.6	26.6	17.1	35.5	52.6	5.1	29.0
	8本	25.0	8.3	6.5	27.2	17.5	35.7	50.1	4.8	27.7

*葉身比：(長)葉身長÷葉長、(重)葉身重÷株重
葉色：最大葉をミノルタ社製SPAD-502で測定

表9 苗立ち数と株全体内容成分含有率 (mg/100gFW)

品種	試験区	アスコルビン酸	硝酸態窒素	シュウ酸
サンピア	1本	56	105	771
	3本	38	129	651
	5本	29	154	516
	8本	28	159	487
オーライ	1本	60	106	707
	3本	40	131	565
	5本	28	159	479
	8本	29	150	469

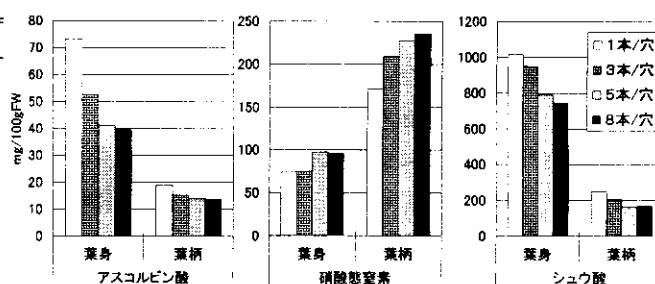


図6 苗立ち数と葉身・葉柄別内容成分含有率

表10 培養液の窒素形態と生育及び内部成分含有率

品種	試験区	株重 (g/穴)	葉長 (cm)	葉色 SPAD	内容成分含有率	
					硝酸態窒素	シュウ酸
アフリカン	16:1.3	28.6	28.1	30.9	152(100%)	852(100%)
	10:3	31.5	27.3	28.3	138(91%)	695(82%)
	1:1	31.5	27.6	27.5	140(92%)	538(63%)
サンライト	16:1.3	27.5	24.9	34.1	139(100%)	927(100%)
	10:3	32.0	26.5	33.4	143(103%)	865(93%)
	1:1	30.2	27.9	33.0	120(86%)	726(78%)

*葉色：最大葉をミノルタ社製SPAD-502で測定
内容成分含有率：mg/100gFW、()内は、16:1.3区を100%とした相対値

表11 培養液の窒素形態0:1区における葉長及び硝酸態窒素含有率 (cm, mg/100gFW)

品種	試験区	葉長		硝酸態窒素	
		6/26	6/30	6/26	6/30
アフリカン	16:1.3	14.4	17.4	132	130
	0:1	12.0	13.2	36	4
サンライト	16:1.3	13.7	18.3	74	96
	0:1	11.3	13.4	41	5

有率の結果を表11に示した。慣行の16:1.3区に比べ、10:3区及び1:1区は株重、葉長等の外観では大差なかった。硝酸態窒素含有率は、「アフリカン」が10:3区及び1:1区ともに16:1.3区より8%程度低くなり、「サンライト」は1:1区で14%低くなった。シュウ酸含有率は、NH₄-Nの比率が高まるにつれ、低くなった。0:1区は葉長13cm程度で生育が停止したが、その時点での硝酸態窒

素含有率は、「アフリカン」が16:1.3区の3%、「サンライト」が5%と低かった。

16:1.3から1:1までの範囲では、NH₄-Nの比率を高めることでシュウ酸含有率を低下させることが可能であったが、硝酸態窒素含有率の低下は小さかった。0:1区では、生育に必要な窒素を吸収できなかったため、硝酸態窒素含有率が極めて低くなった。硝酸態窒素含有率が低

下させるためには、収穫間近に培養液の窒素組成を0:1とすることが有効と考えられた。

(試験6 給液回数の影響)

結果を表12に示した。

制限Ⅰ区及び制限Ⅱ区は、給液制限により葉が萎れることはなかったが、制限Ⅲ区では晴天時に葉身の萎れがみられた。

給液を制限した3処理区とも、慣行区に比べ、株重、葉長、葉幅とも小さく、生育が劣った。給液を制限した3処理区では制限Ⅱ区の生育が最も良かった。

慣行区のアスコルビン酸含有率は、制限Ⅰ区で給液制限を開始した10月6日、制限Ⅱ区及びⅢ区で給液制限を開始した10月11日、収穫適期の10月19日と生育が進むにつれて低下した。制限Ⅰ区のアスコルビン酸含有率は、「タイタン」で10月6日より4%減、「プラトン」で10%減であったが、慣行区の36%減、24%減よりは少なく、同時収穫時の10月19日には慣行区より高かった。制限Ⅱ区は、「タイタン」で10月11日と同程度、「プラトン」で10%増であった。制限Ⅲ区では、「タイタン」で10月11日より26%増、「プラトン」で18%増であった。給液制限した区では制限Ⅲ区の含有率が最も高かった。

慣行区の硝酸態窒素含有率は、生育が進むにつれて高くなった。給液を制限した3試験区でも給液制限開始時より含有率が高くなった。同時収穫時には、制限Ⅰ区及び制限Ⅱ区の含有率は、慣行区に比べ10%程度の増減であった、制限Ⅲ区では「タイタン」は30%減、「プラトン」は12%増と品種により差がみられた。

給液を制限することにより、生育が進むにつれて低下

するアスコルビン酸含有率を給液制限開始時程度に維持することが可能で、収穫時に慣行栽培より含有率を高めることができた。しかし、給液制限は生育を遅延させることから、給液回数等の管理方法については検討を要するが、葉長15cm程度から、葉が萎れない程度の制限が適すと考えられた。

(試験7 内容成分の改善を図る体系的栽培法の検討)

収穫時の生育調査、内容成分含有率を表13に示した。

冬作において、改良区の収穫は2月18日であり、慣行区の2月7日収穫より11日遅れた。株重は大差なかった。また、アスコルビン酸含有率は、慣行区に比べ「アクティブ」で25%増、「プラトン」で38%増、硝酸態窒素含有率は「アクティブ」「プラトン」とともに75%減であった。改良区で給液制限及び培養液置換を続け、2月23日に収穫した場合、アスコルビン酸含有率は更に高まり、硝酸態窒素含有率は低くなったが、外葉に黄化がみられた。給液制限開始時の1月28日からの内容成分含有率の経時変化を図7に示した。アスコルビン酸含有率は2月19日まで低くなったが、その程度は慣行区より緩やかであり、2月19日以後は高くなった。また、2月18日以後は硝酸態窒素含有率は、慣行区で高まっているのに対して、改良区は培養液置換の2月9日までは変動せず、培養液置換後、急激に低下した。

夏作において、改良区の収穫は7月25日で、慣行区の7月21日収穫より4日遅れた。改良区の株重は、「アクティブ」で慣行区より増加したが、「プラトン」は減少した。また、改良区で葉色値が10%程度低かった。アスコルビン酸含有率は、慣行区に比べ「アクティブ」で31%

表12 給液制限と生育及び内容成分含有率

品種	試験区	調査日	株重 (g/穴)	葉長 (cm)	葉身比 (%)	葉幅 (cm)	葉色 (SPAD)	内容成分含有率(mg/100gFW)	
								アスコルビン酸	硝酸態窒素
タイタン	慣行	10/6	2.6	10.4	56.8	2.4	32.4	45(100, -)	35(100, -)
	"	10/11	7.5	16.1	50.5	4.1	31.1	38(84, 100)	47(134, 100)
	"	10/19	22.6	25.4	46.7	6.6	32.1	29(64, 35)	77(220, 164)
	制限Ⅰ	10/19	15.8	22.2	47.0	5.4	30.5	43(96, -)	71(203, -)
	制限Ⅱ	10/19	19.6	24.0	48.0	6.2	35.0	37(-, 97)	79(-, 168)
	制限Ⅲ	10/19	16.3	22.9	45.0	5.7	31.7	48(-, 126)	54(-, 115)
プラトン	慣行	10/6	2.4	10.8	54.0	2.1	32.1	49(100, -)	38(100, -)
	"	10/11	8.6	16.8	49.7	4.3	32.7	40(82, 100)	51(134, 100)
	"	10/18	19.2	26.1	45.2	6.1	35.1	38(76, 95)	75(197, 147)
	制限Ⅰ	10/18	16.1	23.6	44.0	5.7	33.8	44(90, -)	73(192, -)
	制限Ⅱ	10/18	16.2	22.5	43.5	5.2	35.5	44(-, 110)	69(-, 135)
	制限Ⅲ	10/18	15.7	23.5	42.5	5.4	35.5	47(-, 118)	84(-, 165)

* 葉身比：葉身長÷葉長、葉色：最大葉をミノルタ社製SPAD-502で測定

内容成分含有率：(,)内は、左が慣行10/6を100%とした相対値、右が慣行10/11を100%とした相対値

表13 改良栽培法と生育及び内容成分含有率

作期	品種	試験区	調査日	株重 (g/穴)	葉長 (cm)	葉身比 (%)	葉色 (SPAD)	内容成分含有率(mg/100gFW)		
								アスコルビン酸	硝酸態窒素	シュウ酸
冬作	アクティブ	慣行区	2/7	25.4	24.7	42.2	42.4	51(100)	96(100)	-
		改良区	2/18	27.7	24.4	40.3	44.7	64(125)	24(25)	-
		〃	2/23	26.5	23.2	43.8	43.1	81(159)	3(3)	-
	プラトン	慣行区	2/7	28.0	26.2	39.9	44.9	54(100)	97(100)	-
		改良区	2/18	26.1	24.9	39.5	48.9	75(138)	25(25)	-
		〃	2/23	30.2	25.4	39.9	47.6	82(151)	9(9)	-
夏作	アクティブ	慣行区	7/21	24.1	27.0	38.4	30.4	40(100)	175(100)	563(100)
		改良区	7/25	27.1	26.6	39.7	26.5	52(131)	57(32)	435(77)
	プラトン	慣行区	7/21	31.8	29.2	39.9	33.4	36(100)	167(100)	455(100)
		改良区	7/25	24.7	28.8	41.7	30.7	54(151)	62(37)	450(99)

* 葉身比：葉身長÷葉長、葉色：最大葉をミノルタ社製SPAD-502で測定

内容成分含有率：()内は、慣行区を100%とした相対値

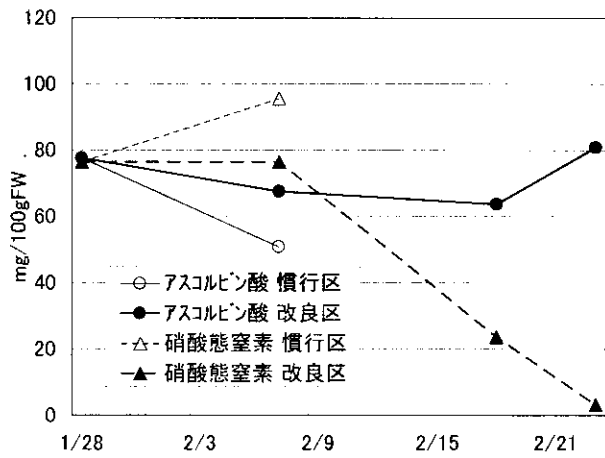


図7 冬作における給液制限開始後の内容成分含有率の消長

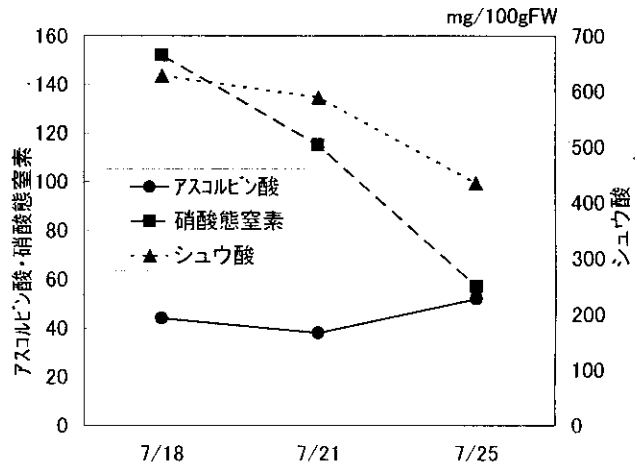


図8 秋作における改良区の培養液置換後の内容成分の消長

増、「プラトン」で51%増、硝酸態窒素含有率は「アクティブ」で68%減、「プラトン」で63%減、シュウ酸含有率は「アクティブ」で23%減、「プラトン」では慣行区と同程度であった。改良区における培養液置換後の内容成分の変化を図8に示した。硝酸態窒素含有率とシュウ酸含有率は生育が進むにつれて低くなった。アスコルビン酸含有率は、7月21日までは大差なかったが、以後増加した。

給液制限と培養液置換を組み合わせることにより、アスコルビン酸含有率を高め、硝酸態窒素含有率を低下させることが可能であった。シュウ酸含有率は品種により差がみられたが、高まることはなかった。培養液置換後の栽培日数を長くすることで、内容成分を向上する効果が高まるが、外観品質が低下するため、その程度については栽培時期等により検討する必要がある。

総合考察

今回は、ホウレンソウに含まれるアスコルビン酸、硝酸態窒素、シュウ酸の3成分に着目し、アスコルビン酸含有率を高め、硝酸態窒素含有率及びシュウ酸含有率を低下させることを検討した。これらの成分は、植物体の代謝過程において、互いに深く関連している。アスコルビン酸は、グルコースから合成されると考えられており、日照条件が良いと含有率が高まるなど、光合成と密接な関係がある。そのため、植物体内の窒素栄養とも結びついていると考えられている¹⁾。

一方、シュウ酸は、アスコルビン酸が代謝の過程で加水分解され生成される経路、植物体に吸収された硝酸態窒素が還元される際に生成される経路等が知られている³⁾。硝酸態窒素は、還元作用を受け、アンモニア態窒素となり、有機窒素化合物に同化されるが、過剰に吸収された

硝酸態窒素は葉柄に蓄積される。このように、代謝過程において密接に関連している3成分のうち、1成分を高め、2成分を低下させることは実用的に難しいとされてきた。

試験7で開発した改良栽培法は、アスコルビン酸含有率を25%以上高め、硝酸態窒素含有率を40%以下に低減することが可能であった。シュウ酸含有率については高まることはなく、品種によっては低くなったことから、品種反応等を更に検討し、品種を選定することで、含有率を低下させる可能性が示された。この栽培方法は、生育が1週間程度遅れるものの、外観・収量を低下させることがなく、実用的な栽培方法と考えられた。給液制限のみで、アスコルビン酸含有率を慣行栽培より高くすることが可能であるが、硝酸態窒素含有率は低下せず、シュウ酸含有率も代謝過程から低下することはないと考えられた。収穫前に培養液の窒素形態を $\text{NH}_4\text{-N}$ のみの培養液とすることで、硝酸態窒素含有率及びシュウ酸含有率を低下させることが可能であった。一方、アスコルビン酸含有率も置換数日後から高まることが示された。給液制限と培養液置換を組み合わせることで、3成分の向上が可能となった。給液制限については、制限程度を強めることにより、アスコルビン酸含有率を更に高めることが可能であるが、過剰な水ストレス及び肥料成分の供給不足により大幅な生育遅延、生育停止が生じるため、葉長15cmから葉が萎れない程度が適当と考えられた。また、培養液置換後の栽培日数を長くすることで、内容成分改善への効果を増大することが可能であるが、外観を損なわないことを考慮して、概ね1週間程度(夏作で5日程度、冬作で10日程度)が適当と考えられた。

内容成分を改善する他の要因として、品種があげられる。29品種での試験で、3成分ともに優れている品種はなかったが、品種比較における3成分間の相関が低いことから、比較的3成分ともに優れている品種の選定、改良栽培法で向上効果の出やすい品種の選定等は可能と考えられた。また、アスコルビン酸含有率に着目すれば、改良栽培法の1.3倍増に対して、品種による変動係数12%、最大値は最小値の1.6倍であることから、内容成分改善における品種の影響は大きいといえる。

苗立ち数も内容成分改善には重要な要因であるが、アスコルビン酸とシュウ酸がともに同じ消長を示すため、適当な苗立ち数は明確にできなかった。また、葉長20cm程度の生育ステージでの収穫は、3成分とも改善されることから、早期収穫栽培を行うことは有効である。早期収穫は作毎の収量は低下することから、年間作付け数等を考慮する必要がある。一方、ホウレンソウは内葉の、新しい葉ほど、3成分とも優れている傾向があることか

ら、外側の葉を多く除去することが、内容成分を向上させたホウレンソウの供給につながると考えられた。

なお、今回開発した、内容成分を向上させる改良栽培法は、給液制限の程度及び培養液置換後の日数が重要であり、栽培時期、栽培面積、NFTの方式により、給液回数等を適宜検討することが必要である。

引用文献

- 1) 香川彰(1997) 高品質ホウレンソウの栽培生理. いしずえ
- 2) 孫尚穆(1996) 野菜の硝酸: 作物体の硝酸の生理, 集積, 人の摂取. 農業及び園芸. 71. 11. 31~34
- 3) 建部雅子(1999) 窒素栄養の制御による作物品質成分の改善に関する研究. 農業研究センター研究報告. 31: 19~83
- 4) 吉田企世子(1999) 賢く健康的な野菜消費のために. 野菜季報'99. 66: 31~44
- 5) 岐阜県農林水産局編(2001) 岐阜県農林業の動き. 岐阜県

ABSTRACT

We investigated the prosperity and decline of ascorbic acid, nitric acid and (water-soluble) oxalic acid in spinach under various cultivating conditions to develop ultimate culture method improving the contents of the constituents in NFT hydroponics.

It is the improvement method to limit supply times of nutrient solution at about 15cm of leaf length and change the rate of $\text{NO}_3\text{-N} : \text{NH}_4\text{-N}$ in nutrient solution from 16:1.3 (control) to 0:1 about one week before harvest.

The content of ascorbic acid increases more than 130% from control, and that of nitric acid decreases more than 60%, while the content of (water-soluble) oxalic acid decreases depending on cultivar.

KEYWORDS

spinach, hydroponics, ascorbic acid, nitric acid, oxalic acid