

食品中リグナンの摂取と機能

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者名	畑,直樹 岡澤,敦司 小林,昭雄
発行元	養賢堂
巻/号	83巻6号
掲載ページ	p. 649-656
発行年月	2008年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



食品中リグナンの摂取と機能

—リグナン研究の最新動向—

畑 直樹*・岡澤敦司*・小林昭雄*

[キーワード]:植物エストロゲン(phytoestrogen),
ピノレジノール (pinoresinol), ラリシレジノール
(lariciresinol), セコイソラリシレジノール
(secoisolariciresinol), マタイレジノール
(matairesinol)

1. はじめに

リグナンは、C6-C3単位を1単位とする二量体で、かつ、少なくとも、それぞれのC8位同士が必ず結合(C8-C8'結合)している植物由来の化学物質の総称である。具体的には、図1に示すとおり、ベンゼン環(C6)から伸びるプロパン鎖(C3)の中央の炭素(C8)同士が結合した炭素数18の構造を基本骨格としている。C6-C3単位を1単位とする二量体のうち、C8-C8'以外のモノマー同士の結合様式を有するものはネオリグナン、リグナンよりも基本骨格の炭素数が1つ少ない(炭素数17)ものはノリグナンとよばれる(梅澤 2001)。

わが国におけるリグナンの研究は、薬用植物を用いた生薬学的研究や、林木における心材形成と関連した研究を中心に行われてきた。このような背景から、穀類、野菜、果物といった日常摂取する作物については、ゴマのセサミン類を除けば、ほとんど研究がなされておらず、リグナンについての関心は一般的には低い。一方、欧米においては、リグナンの抗がん作用をはじめとする種々の有用性を背景に、食品中のリグナンに対する関心が高く、研究例も多い。

本稿では、食品中のリグナンに関する研究の動向について植物エストロゲンの話題を中心に、近年のトピックスを紹介する。

2. リグナンの代謝経路

植物の生成するリグナンには、コニフェリルアルコール、イソオイゲノールおよびカフェー酸に由来

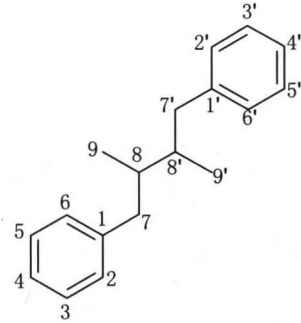


図1 リグナンの基本骨格

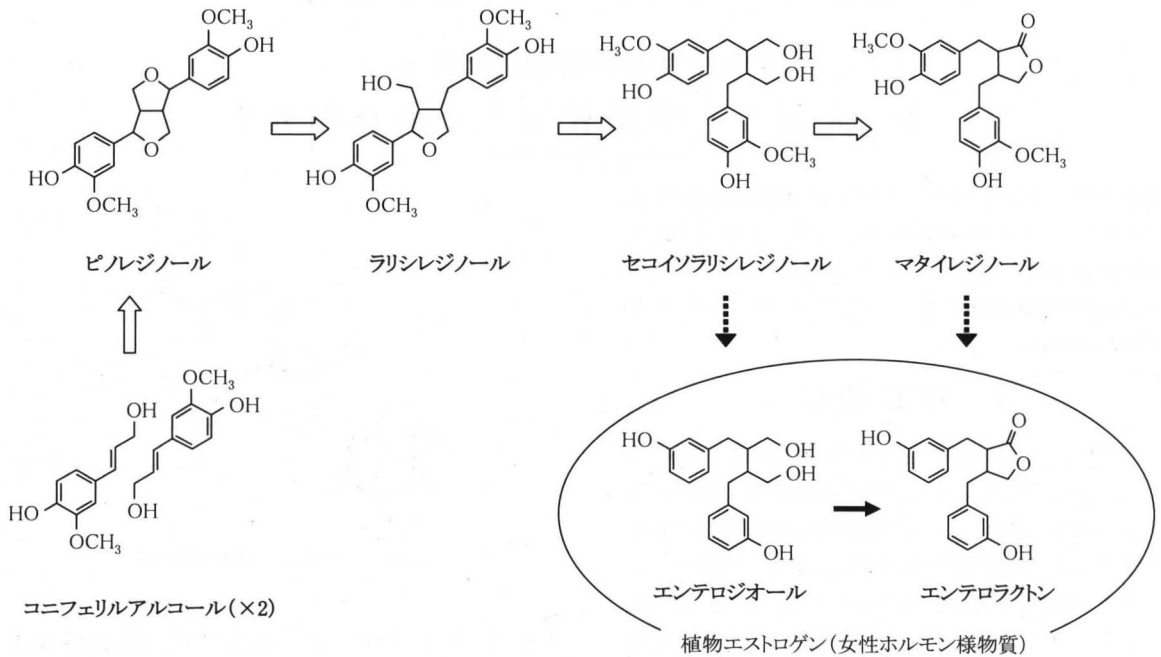
する3タイプのもが存在する(Suzuki and Umezawa 2007, 梅澤 2005)。多くのリグナンはコニフェリルアルコールに由来すると考えられ、その生合成研究が最も進展している。

リグナン生合成経路の最上部に位置するピノレジノールは、2分子のコニフェリルアルコールの重合により生成される(図2)。ピノレジノールは、その後、ラリシレジノール、セコイソラリシレジノール、マタイレジノールの順に代謝されることが明らかとなっている。コニフェリルアルコールからマタイレジノールへの代謝はさまざまな植物種で示されており、リグナン生合成の一般的な経路であるとみられる(Umezawa 2003)。マタイレジノール以降は、アルクチゲニンに代謝される経路や、抗腫瘍活性を有することで知られるポドフィロトキシンへと代謝される経路などが存在する(Suzuki and Umezawa 2007, 梅澤 2005)。ピノレジノール、ラリシレジノール、セコイソラリシレジノールから分岐するリグナン生合成経路も推定されており(Suzuki and Umezawa 2007)、ゴマに含まれるセサミンは、ピノレジノールが、ペパリトール、セサミンの順に代謝されて生成される(Davin and Lewis 2003, Onoら 2006)。

セコイソラリシレジノール、マタイレジノールは、

*大阪大学大学院工学研究科

(Naoki Hata, Atsushi Okazawa, Akio Kobayashi)



⇨ 植物中の代謝

➔ 腸内細菌による代謝 (中間体なし)

➡➡ 腸内細菌による代謝 (中間体あり)

図2 リグナンの主要代謝経路

腸内細菌により、哺乳動物リグナン (mammalian lignan) とよばれるエンテロジオール、エンテロラクトンへと代謝されることが以前より知られている (Axelson ら 1982, Borriello ら 1985) (図2)。最近になって、Heinonen ら (2001) が、数種リグナン、とくにピノレジノールとラリシレジノールも同様に、エンテロジオール、エンテロラクトンへと代謝されることを示した。ピノレジノールジグルコシド、セコイソラリシレジノールジグルコシドのような配糖体 (OH 基がグルコースと結合したグルコシド) は、腸内細菌により、アグリコンへと変換された後に、いくつかの中間体を経て、エンテロジオール、エンテロラクトンへと代謝される (Gao and Hattori 2005)。

エンテロジオール、エンテロラクトンは、植物由来の女性ホルモン様の物質、すなわち植物 (性) エストロゲン (phytoestrogen) の1つであり、弱いエストロゲンおよび抗エストロゲン作用を示す (服部 2006)。植物エストロゲンは、乳がん、冠動脈疾患、腸がんに関する危険率を低めることが疫学的調査か

ら示されている。エンテロラクトンの尿中への排泄量も、女性ホルモン依存性疾患、とくに乳がん発症の危険性と逆相関関係にあり、アメリカ国立がん研究所は、これらの化合物を抗がん剤に指定している。わが国では、植物エストロゲンとしては、マメ類のイソフラボンへの関心が高く、広く知られているところであるが、種々食品中のリグナンについても、植物エストロゲンの観点から今一度関心を払う必要があるように感じられる。

3. 食品中のリグナン含量

上述のように、ピノレジノールとラリシレジノールがエンテロジオールやエンテロラクトンへと代謝されることが明らかとなる (Heinonen ら 2001) までは、食品中のリグナン含量の評価対象はセコイソラリシレジノールとマタイレジノールの2種が中心となっていた。植物エストロゲンの前駆体という観点からすれば、ピノレジノールとラリシレジノールについても改めて評価する必要がある。この点で、Milder ら (2005a) が、オランダで市販されている

表1 食品中のリグナン含量 (1)

食品名	備考	リグナン含量($\mu\text{g}/100\text{g FW}$)				4種合計
		PINO	LARI	SECO	MATA	
油糧種子・堅果						
アマ		3,324	3,041	294,210	553	301,129
ゴマ		29,331	9,470	66	481	39,348
ヒマワリ		167	671	53	0	891
ラッカセイ		0	41	53	0	94
ケシ		0	10	0	0	10
カシューナッツ		0	496	133	0	629
穀物製品						
パン						
アマ種子全粒		383	220	11,845	26	12,474
多種穀物		377	185	6,163	19	6,744
ライムギ(黒)		172	122	13	14	320
ライムギ(白)		163	111	16	12	301
コムギ(全粒)		33	73	15	0	121
コムギ(精製)		28	38	17	0	83
コムギ(精白)		7	11	0	0	18
カラント/レーズン		9	79	9	7	104
その他						
ムースリ(グラノーラ)	Jordans	497	250	17	0	764
	Albert Heijn	210	120	13	0	343
	Edah	129	63	17	0	210
コムギ	ホールミール	38	140	31	0	210
	製粉	9	18	0	0	27
イネ	玄米飯	7	28	3	2	40
	白米飯	0	7	0	0	7
マカロニ	白・ゆで状態	5	7	4	0	15
野菜						
Brassica 属						
カーリーケール		1,691	599	19	12	2,321
ブロッコリー		315	972	38	0	1,325
キャベツ		568	212	8	0	787
メキャベツ		220	493	34	0	747
ムラサキキャベツ		90	178	9	0	276
カリフラワー		58	124	4	0	185
Allium 属						
ニンニク		200	286	50	0	536
リーキ		3	37	38	0	78
タマネギ		0	19	18	0	36
その他						
サヤインゲン		24	220	29	0	273
ピーマン	緑	1	164	7	0	172
	赤	1	106	7	0	113
ニンジン		19	60	93	0	171
ズッキーニ		37	64	18	0	119
ハウレンソウ	冷凍	12	68	2	0	82
キュウリ		1	59	8	0	67
トマト		14	42	2	0	58
チコリー		25	6	17	0	48
エンダイブ		9	15	14	0	38
エンドウ	ビン詰め	20	14	0	0	34
ジャガイモ		0	28	4	0	31
黒インゲンマメ	ビン詰め	3	13	10	0	26
レタス		4	5	8	0	16
結球レタス		0	2	9	0	11
スイートコーン	ビン詰め	0	2	5	0	7
テーブルビート	ゆで状態	0	3	1	0	3
マッシュルーム		0	0	0	0	0

出典：Milderら 2005a をもとに作成，一部改変。

表1 食品中のリグナン含量 (2)

食品名	備考	リグナン含量($\mu\text{g}/100\text{g FW}$)				4種合計
		PINO	LARI	SECO	MATA	
果物						
アンズ		314	105	31	0	450
イチゴ		212	117	5	0	334
モモ		186	80	27	0	293
セイヨウナシ		34	155	4	0	193
ネクタリン		131	41	18	0	190
グレープフルーツ	ピンク	45	95	9	2	152
オウトウ		100	41	6	0	147
キウイフルーツ		0	17	112	0	129
セイヨウスモモ		74	4	4	0	82
マンダリンオレンジ		21	57	3	1	81
オリーブ	黒	37	36	7	0	80
	緑	13	5	26	0	45
オレンジ		24	47	5	2	78
メロン	ガリアタイプ	22	44	5	0	71
ヨーロッパブドウ	青	0	52	4	5	60
	白	4	25	10	3	42
パイナップル	缶詰	5	3	7	5	20
リンゴ		0	1	0	0	1
バナナ		0	0	0	0	0
植物性油および油脂						
オリーブ油	エキストラバージン	243	4	0	0	248
	レギュラー	101	5	0	0	106
マーガリン		0	7	32	0	39
ダイズ油		0	0	0	0	0
ヒマワリ油		0	0	0	0	0
その他						
ザワークラウト		133	116	67	0	316
トマトペースト		70	107	9	0	187
レーズン	白	0	153	9	19	181
	青	0	118	8	18	144
豆腐		61	61	18	0	140
ココア粉末		26	26	8	0	60
プレーンチョコレート		23	20	0	0	44
ベイクドビーンズ	缶詰	9	21	8	0	37

PINO:ピノレジノール, LARI:ラリシレジノール, SECO:セコイソラリシレジノール, MATA:マタイレジノール.

0は検出限界以下の濃度であることを示す.

出典:Milderら 2005aをもとに作成, 一部改変.

多数の食品について, 4種のリグナン(ピノレジノール, ラリシレジノール, セコイソラリシレジノール, マタイレジノール)含量を精査しており, 本稿では同氏らの分析データを紹介したい. なお, 分析法の詳細については, Milderら(2004)も参照されたい.

表1に示すように, リグナン含量はアマで最も高く, リグナン4種の合計で約300mg/100gFW含まれている. アマを用いたパン(アマ種子全粒, 多糧穀物)も, 他のパンに比べてリグナン含量が高くなっている.

アマに次いでリグナン含量が高いのはゴマであ

り, リグナン4種の合計で約40mg/100gFW含まれている. なお, ゴマには, セサミン類が多く含まれており, リグナン一般としては, やはり含有量が高い食品の一つである. 近年, わが国で育種されたゴマの高リグナン含有品種‘ごまぞう’は, セサミンを8.0~10.9mg/g種子重(800~1,090mg/100gFW)と多量に含有している(安本ら2003).

その他, 特筆すべきものとしては, Brassica属野菜にリグナンが多く含まれることがあげられる. 含有しているリグナンの大部分はピノレジノールとラリシレジノールであるが, 両者がこれまで評価されていなかったことから, Milderら(2005a)も予

表2 飲料品中のリグナン含量

飲料品名	備考	リグナン含量 ($\mu\text{g}/100\text{mL}$)				4種合計
		PINO	LARI	SECO	MATA	
アルコール						
ワイン						
赤	南アフリカ産	6.3	15.9	61.3	7.8	91.3
	フランス産1	9.5	16.1	47.5	5.9	78.9
白	フランス産2	11.9	8.6	41.7	6.9	69.1
	フランス産	3.0	11.9	7.6	3.0	25.5
	ドイツ産	1.7	7.3	12.2	2.7	23.8
ラガービール	南アフリカ産	2.5	4.6	5.2	3.1	15.5
	Grolsch	22.2	9.2	0.8	0	32.2
	Heineken	21.7	9.0	1.0	0	31.6
	Bavaria	12.6	5.9	0	0	18.5
ノンアルコール						
茶						
紅茶	セイロン	40.6	30.4	5.0	1.1	77.1
	イングリッシュブレンド	33.6	30.8	5.4	1.4	71.2
	アールグレイ	27.0	28.9	6.2	1.5	63.6
緑茶	レモン味	5.7	18.7	12.9	2.0	39.2
コーヒー	Albert Heijn	1.5	13.1	16.1	0.7	31.3
	Kanis & Gunnink	1.3	9.1	9.2	0	19.6
	Douwe Egberts	0.4	9.0	9.4	0	18.7
ジュース						
ブドウ	青	3.7	6.5	10.8	3.9	24.8
	白	0.7	3.3	2.5	1.0	7.4
トマト		9.9	9.7	1.6	0	21.2
オレンジ	レギュラー	7.5	7.0	2.7	0	17.2
	果肉入り	6.6	7.4	2.7	0	16.6
グレープフルーツ	黄	4.8	5.1	6.0	0	15.9
	ピンク	3.3	5.0	6.7	0	15.0
その他						
豆乳		30.0	6.6	1.1	0	37.7
チョコレートミルク	セミスキムミルク	1.3	0.9	0	0	2.2
コーラ		0	0	0	0	0

PINO:ピノレジノール, LARI:ラリシレジノール, SECO:セコイソラリシレジノール, MATA:マタイレジノール
0は検出限界以下の濃度であることを示す。

出典:Milderら 2005a をもとに作成, 一部改変。

想外に多かったと述べている。今後、リグナンが *Brassica* 属野菜の機能性成分の一つとして評価され、含有量に及ぼす栽培条件の検討や高含有量系統の育種が進められるかもしれない。

飲料品についてみると、赤ワイン、紅茶のリグナン含量が、比較的高い値であった(表2)。

全体としては、セコイソラリシレジノールとマタイレジノールよりも、ピノレジノールとラリシレジノールの含有量が高い傾向にあり、Milderら(2005a)は、セコイソラリシレジノールとマタイレジノールの2種に着目したこれまでの調査では、食品中の植物エストロゲン前駆体としてのリグナン含量を過小評価していたと述べている。

4. 食品由来リグナン摂取量

上述のデータを利用して、Milderら(2005b)は、1997・1998年の全国食物消費調査に基づき、オランダにおける4種のリグナン摂取量を調査している。調査対象は19歳以上の成人4,660人であり、平均で3g/(人・日)以上摂取する食品(果物は1g, 飲料は10g)について調査している。それによると、1日当たりのリグナン4種合計の摂取量は43~77,584 μg 、平均で1,241 μg と算出された。平均値1,241 μg に占める割合は、ラリシレジノールの43%(535 μg)が最も高く、ピノレジノールが32%(403 μg)、セコイソラリシレジノールが24%(292 μg)であり、マタイレジノールはわずかに1%(11 μg)であった。これは、リグナン摂取量全体

表3 リグナンの摂取量に対する食品別の寄与率

	利用者の割合 (%)	リグナン摂取量に対する寄与率 (%)				4種合計
		PINO	LARI	SECO	MATA	
飲料	100.0	40.4	34.9	35.3	73.2	37.1
茶	69.4	28.1	19.1	6.3	42.1	19.2
コーヒー	89.1	1.6	11.4	23.3	13.7	11.0
ビール(ラガー)	22.3	6.3	2.0	0.3	0	3.0
フルーツジュース	33.9	3.1	1.4	1.0	0	1.8
ワイン(赤・白)	20.4	0.6	0.7	4.2	17.4	1.6
野菜	93.5	26.4	31.3	8.9	2.7	24.2
Brassica属(キャベツ他)	34.8	22.1	18.2	2.1	2.7	15.5
サヤインゲン	15.0	0.7	5.0	1.2	0	2.7
ニンジン	14.9	0.6	1.2	2.5	0	1.3
トマト	29.0	0.6	1.1	0.1	0	0.7
堅果・種子	34.6	6.8	4.0	41.2	6.4	13.7
アマ	0.6	0.3	0.2	39.4	1.8	9.5
ゴマ	2.9	6.4	1.6	0	3.7	2.8
パン	98.8	8.9	11.2	5.2	7.3	9.0
コムギ	96.7	7.1	9.3	4.7	0	7.4
ライムギ	5.5	0.9	0.4	0.1	2.7	0.5
カラント/レーズン	14.2	0.1	0.9	0.2	3.7	0.5
果物	75.3	7.9	7.8	2.4	6.4	6.6
セイヨウナシ	8.3	0.7	2.4	0.1	0	1.3
オレンジ	5.7	2.1	0.9	0.1	0	1.1
イチゴ	16.0	0.9	1.4	0.2	2.7	1.0
モモ/ネクタリン	3.7	1.4	0.4	0.3	0	0.7
マンダリンオレンジ	16.8	0.5	1.0	0.1	0.9	0.6
ケーキ・クッキー	77.4	2.1	1.7	1.2	2.7	1.7
ポテトフライ・チップ	86.4	0	2.9	0.8	0	1.4
混合料理(ピザ, 春巻など)	20.7	2.7	1.4	0.5	0	1.6
パン以外の穀物製品	59.7	1.8	1.5	0.5	0.9	1.4
スープ	38.1	0.7	1.1	0.8	0	0.9
合計	-	97.7	97.9	96.8	99.7	97.6

PINO: ピノレジノール, LARI: ラリシレジノール, SECO: セコイソラリシレジノール, MATA: マタイレジノール.

リグナン4種合計の摂取量に対する寄与率が0.5%以上の食品について掲載.

出典: Milderら 2005b をもとに作成, 一部改変.

の75%がピノレジノールとラリシレジノールに由来することを意味する.

リグナン4種合計の摂取量に対する寄与率は, 飲料品(37.1%), 野菜(24.2%), 堅果・種子(13.7%), パン(9.0%), 果物(6.6%)の順であった(表3). 言い換えれば, リグナンの主要な供給源が上記の順であることを示している. アマ, ゴマのリグナン含量は他の食品よりもずっと高い(表2)ものの, 利用者の割合がそれぞれ0.6%, 2.9%と少なく, 食品としての摂取も少量であると推察される. そのため, 堅果・種子と比較して, 飲料品や野菜において寄与率が高くなっていると考えられる. ピノレジノール, ラリシレジノールでは, 茶およびBrassica属野菜, セコイソラリシレジノールでは, アマおよびコーヒー, マタイレジノールでは茶が, それぞれ主要な供給源となっている.

その他, Milderら(2005b)は, リグナン摂取量に男女別の差はないこと, 年齢あるいは社会経済的等級が高いほどリグナン摂取量が多いこと, 非喫煙者, 菜食主義者でリグナン摂取量が多いこと, BMI(体重/身長²)が低いほどリグナン摂取量が多いことを示している.

5. 食品中のリグナン摂取効果

上述のように, ピノレジノール, ラリシレジノール, セコイソラリシレジノール, マタイレジノールは, 腸内細菌により, 植物エストロゲンであるエンテロジオール, エンテロラクトンへと代謝される. 植物エストロゲンが弱いエストロゲンおよび抗エストロゲン作用を示すことから, リグナンは, とくに乳がん発症との関係において関心をもたれてきた. Saarinenら(2007)は, これまでの研究で供試

された7種類のリグナンのうち、エンテロラクトンに代謝されるものだけが乳がんの発達抑制に効果があったことから、リグナンの抗がん作用における植物エストロゲン前駆体としての役割を示唆している。

上記4種のリグナン以外にも、エンテロジオールやエンテロラクトンへと代謝されるものはいくつか存在し、近年になって、ゴマに含まれるセサミンがエンテロラクトンへと代謝されることが明らかとなっている (Liuら 2006, Peñalvoら 2005)。セサミンはアーモンドにも少量含まれることが報告されており (Smedsら 2007a)、食品中の植物エストロゲン前駆体として、少なくともゴマならびにアーモンドについては、セサミンも評価する必要があると考えられる。なお、セサミンの機能については研究例が多く、抗酸化作用、抗高血圧作用、自律神経調節作用、アルコール代謝促進作用のほか、さまざまな効果が報告されている (木曾 2005)。

リグナンは、抗がん作用に加えて、抗炎症作用、抗菌作用、抗酸化作用、免疫抑制活性をもつことが知られている (Saleemら 2005)。抗炎症作用を有するリグナンには、ピノレジノール、ラリシレジノールとそれらの配糖体、抗酸化作用を有するリグナンには、ピノレジノール、ピノレジノール配糖体、ラリシレジノール、セコイソラリシレジノール、マタイレジノール、免疫抑制活性を有するリグナンには、ピノレジノールが含まれている。また、西部 (2002) によれば、生薬であるタイワンテイカカズラの茎部 (絡石藤)、レンギョウの果実 (連翹) の有効成分の一つがリグナンである。植物エストロゲン前駆体としての効果に加えて、前者においては、気管平滑筋弛緩作用、Ca²⁺拮抗作用 (Ca²⁺の細胞内への流入の遮断)、活性酸素産生抑制作用、血小板凝集抑制作用、発がんプロモーター抑制作用、後者においては、サイトカインの一つである TNF- α の産生抑制効果が認められている。

その他、分析疫学の観察研究 (observational study) と介入研究 (intervention study) により、リグナンの摂取は、ホルモンの濃度ならびに代謝への好影響、心臓血管疾患、骨粗しょう症、糖尿病、腎臓疾患に罹る危険度の低下に関係することが示唆されている (Lampeら 2006)。また、リグナンの摂取は、乳がんだけでなく、子宮頸がん、卵巣がん、甲状腺腺

がんの発症と逆相関の関係にあるとされる。

6. おわりに

以上、近年の食品中のリグナンに関する研究の動向について、植物エストロゲンの話題を中心にすえて概説した。上記のように、リグナンは、植物エストロゲン前駆体としての効果だけでなく、種々の有用な効果を有することが報告されている。これらの作用についても、リグナン含量の多い食品を中心に、その機能性成分としての検討を要する。また最近、Smedsら (2007b) が、水道水、腐植水 (湖水)、海水、下水処理排水、下水処理水原水に、植物エストロゲンのエンテロラクトンが存在し、そのようなエンテロラクトンを含有する水が植物の根から吸収される結果、エンテロラクトンがさまざまな作物中から検出されたことを報告している。今後、食品中のリグナンについて、植物エストロゲンそのものについても、環境ホルモンという観点からも、分析ならびに評価していく必要があるだろう。

引用文献

- Axelsson, M., J. Sjövall, B. E. Gustafsson and K. D. R. Setchell 1982. Origin of lignans in mammals and identification of a precursor from plants. *Nature* 298:659-660.
- Borriello, S. P., K. D. R. Setchell, M. Axelsson and A. M. Lawson 1985. Production and metabolism of lignans by the human faecal flora. *Journal of Applied Bacteriology* 58:37-43.
- Davin, L. B. and N. G. Lewis 2003. An historical perspective on lignan biosynthesis: Monolignol, allylphenol and hydroxycinnamic acid coupling and downstream metabolism. *Phytochemistry Reviews* 2:257-288.
- Gao, J. J. and M. Hattori 2005. Metabolic activation of lignans to estrogenic and antiestrogenic substances by human intestinal bacteria. *Journal of Traditional Medicines* 22:213-221.
- 服部征雄 2006. 東洋医学と生命科学の融合を目指して 第2回 和漢薬と腸内細菌のかかわり. *Biophilia* 7:54-58.
- Heinonen, S., T. Nurmi, K. Liukkonen, K. Poutanen, K. Wähälä, T. Deyama, S. Nishibe and H. Adlercreutz 2001. In vitro metabolism of plant lignans: new precursors of mammalian lignans enterolactone and enterodiol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49:3178-3186.
- 木曾良信 2005. セサミンの抗酸化作用—総説:「ビタミン・バイオファクターの新展開:健康と食」—. *ビタミン* 79:23-26.
- Lampe, J. W., C. Atkinson and M. A. J. Hullar 2006. Assessing exposure to lignans and their metabolites in humans. *Journal of AOAC International* 89:1174-1181.
- Liu, Z., N. M. Saarinen and L. U. Thompson 2006. Sesamin is one of the major precursors of mammalian lignans in sesame seed (*Sesamum indicum*) as observed in vitro and in rats. *The Journal of Nutrition* 136:906-912.
- Milder, I. E. J., I. C. W. Arts, D. P. Venema, J. J. P. Lasaroms, K. Wähälä and P. C. H. Hollman 2004. Optimization of a liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for quantification of the plant lignans secoisolariciresinol, matairesinol, lariciresinol, and pinoresinol in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:4643-4651.

- Milder, I. E. J., I. C. W. Arts, B. van de Putte, D. P. Venema and P. C. H. Hollman 2005a. Lignan contents of Dutch plant foods: a database including lariciresinol, pinosresinol, secoisolariciresinol and matairesinol. *British Journal of Nutrition* 93:393-402.
- Milder, I. E. J., E. J. M. Feskens, I. C. W. Arts, H. B. Bueno de Mesquita, P. C. H. Hollman and D. Kromhout 2005b. Intake of the plant lignans secoisolariciresinol, matairesinol, lariciresinol, and pinosresinol in Dutch men and women. *The Journal of Nutrition* 135:1202-1207.
- 西部三省 2002. 生薬の基原と品質評価. *薬学雑誌* 122:363-379.
- Ono, E., M. Nakai, Y. Fukui, N. Tomimori, M. Fukuchi-Mizutani, M. Saito, H. Satake, T. Tanaka, M. Katsuta and T. Umezawa 2006. Formation of two methylenedioxy bridges by a *Sesamum* CYP81Q protein yielding a furofuran lignan, (+)-sesamin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103:10116-10121.
- Peñalvo, J. L., S. M. Heinonen, A. M. Aura and H. Adlercreutz 2005. Dietary sesamin is converted to enterolactone in humans. *The Journal of Nutrition* 135:1056-1062.
- Saarinen, N. M., A. Wärrä, M. Airio, A. Smeds and S. Mäkelä 2007. Role of dietary lignans in the reduction of breast cancer risk. *Molecular Nutrition and Food Research* 51:857-866.
- Saleem, M., H. J. Kim, M. S. Ali and Y. S. Lee 2005. An update on bioactive plant lignans. *Natural Product Reports* 22:696-716.
- Smeds, A. I., P. C. Eklund, R. E. Sjöholm, S. M. Willför, S. Nishibe, T. Deyama and B. R. Holmbo 2007a. Quantification of a broad spectrum of lignans in cereals, oilseeds, and nuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55:1337-1346.
- Smeds, A. I., S. M. Willför, S. P. Pietarinen, P. Peltonen-Sainio and M. H. T. Reunanen 2007b. Occurrence of "mammalian" lignans in plant and water sources. *Planta* 226:639-646.
- Suzuki, S. and T. Umezawa 2007. Biosynthesis of lignans and norlignans. *Journal of Wood Science* 53:273-284.
- 梅澤俊明 2001. リグナン及び関連フェニルプロパノイドの生合成. *植物の生長調節* 36:57-67.
- Umezawa, T. 2003. Diversity in lignan biosynthesis. *Phytochemistry Reviews* 2:371-390.
- 梅澤俊明 2005. リグナン, リグニンおよびノルリグナンの生合成—ケイヒ酸モノリグノール経路研究の最近の進歩—. *化学と生物* 43:461-467.
- 安本知子・勝田眞澄・杉浦誠・奥山善直・本田裕・古明地通孝 2003. 高リグナン含有ごま新品種「ごまぞう」の育成. *作物研究所研究報告* 4:45-58.

— 本稿の英語タイトル —

Dietary intake of lignans from plant foods and their functional effects: The latest trend in research on lignans.

本誌印刷中に、わが国の食品中のリグナン含量を測定した論文 (Peñalvo J.L., H. Adlercreutz, M. Uehara, A. Ristimäki and S. Watanabe 2008. Lignan content of selected foods from Japan. *J. Agric. Food Chem.* 56:401-409.) が掲載された。併せて参照されたい。

外国文献抄録

作物栽培の多様性はリン酸欠乏土壌における根圏リン酸の活用を通じて
農業生産性を向上させることができる

Long, L., L. Shu-Min, S. Jian-Hao, Z. Li-Li, B. Xing-Guo, Z. Hong-Gang and Z. Fu-Suo 2007. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 104:11192-11196.

これまで中国では、1年生作物を単作栽培してきた耕作地のうち2,800万ha以上で、2つもしくはそれ以上の作物を同時に生育させる間作が行われている。間作は、インド、東南アジア、ラテンアメリカ、アフリカなど世界各地の農業地帯でもよく行われているが、陸地のおよそ1/3でリン酸が欠乏しており最適な作物生産をすることは難しくなっている。とくに、熱帯地域に広がる酸性土壌地域ではリン酸欠乏が著しく、そのため、作物の生産性も低くなっている。いくつかのポット試験でマメ類と穀類を間作した場合、両作物ともに、リン酸欠乏の土壌で単作したときよりもリン酸の吸収が著しく増加させることが報告されている。圃場試験においても、ソラマメとトウモロコシの間作によりリン酸吸収が同様に増加したことが報告されている。しかしながら、ポット、圃場のいずれの試験においても、リン酸吸収の増加が、発根の程度や季節変化などにより促進されたものなのか、それとも2種の作物根によって生じる相互作用によるものなのかは明らかではない。養分が限られた土壌環境において、そのようなリン酸吸収の化学的可溶化は、季節的変化や発根程度の種内によ

る違いに呼応していると考えられる。そこで本研究では、1作物を栽培したときよりも2作物を栽培したときの方がリン酸の可溶化が大きく、リン酸が欠乏した土壌において多収化するという新しいメカニズムを明らかにすることを目的とした。

4年間にわたって圃場試験をくり返した結果、低リン土壌においては間作によりトウモロコシにおいて43%、ソラマメでは26%の収量増加がみられた。トウモロコシの収量増加はソラマメとトウモロコシ地下部間における相互作用に関連していることがわかった。また、ソラマメとの間作によりトウモロコシの子実収量が著しく増加した。さらに、透過性、非透過性のルートバリアを用いたポット試験を行った結果、トウモロコシの収量増加は、ソラマメの根から放出される有機酸とプロトンを通じて根圏が酸性化し、それによりリン酸の可溶化が起こりリン酸の吸収が促進されるためと考えられた。また、低リン酸土壌での間作による収量増は、とくに、厳しい乾燥土壌条件下で有用である可能性が示唆された。さらに、リン酸欠乏土壌における間作による多収は、植物根圏で作物間同士の相互作用によりリン酸を可溶化することでかき集め、それによりその植物自身の生産性と他の植物の生産性を高めるという結果によるものと考えられた。

(日本大学大学院生物資源科学研究科作物学研究室
肥後昌男)