研究報文

スイートソルガム栽培の有無と残渣の施用方法が ウコン根茎の収量とクルクミン濃度におよぼす影響

浅木直美*・窪田俊仁*・坂上伸生*・岡田拓也**・長谷川守文*・磯野健雄**・新田洋司*

* 茨城大学農学部, ** 有限会社ワタミファーム

Effect of Sweet Sorghum Cultivation and Residual Application Method on Yield and Curcumin Content in Turmeric Rhizomes

Naomi ASAGI, Yoshihito KUBOTA, Nobuo SAKAGAMI, Takuya OKADA, Morifumi HASEGAWA,
Takeo ISONO and Youji NITTA

*College of Agriculture, Ibaraki University, **Watami Farm Co.Ltd

スイートソルガム（以下、SS とする）栽培と SS 地上部残渣の利用がウコンの生育、収量、クルクミン含有率におよぼす影響を明らかにすることを目的とした。前年に圃場で SS を栽培（SS 栽培区）および栽培しなかった（SS 無栽培区）土壌をそれぞれ 1/5000 a ワグナーポットに充填した。「SS 栽培区土壌」と「SS 無栽培区土壌」それぞれに無処理区、化学肥料区、SS 地上部残渣を土壌と混和したすきこみ区と土壌表面に施用したマルチ区の 4 処理区を設けた。無処理区以外の処理区に化学肥料 ($N:P_2O_5:K_2O = 14:11:13 \text{ g/m}^2$) を施用した。ガラス室でウコンの根茎を 2017 年 6 月 2 日にポット当たり 1 個 (20 g) ずつ植付け、同年 12 月 6 日にウコンの地上部と根茎を収穫した。ウコン植付け前の「SS 栽培区土壌」の交換性カリ濃度は、「SS 無栽培区土壌」に比べて有意に高かった。ウコン生育初期の土壌含水率はマルチ区で高かった。収穫時ウコンの根茎乾物重とクルクミン含有量は「SS 栽培区土壌」で「SS 無栽培区土壌」に比べて高い傾向であり、マルチ区で多かった。よって、SS 栽培は土壌交換性カリ濃度を増加させ、SS 残渣マルチは土壌の保水性を高めることでウコンの収量やクルクミン含有量を向上させる可能性が示唆された。

キーワード：ウコン、クルクミン、スイートソルガム、輪作

1. 緒言

ソルガム (*Sorghum bicolor* Moench) は、イネ科 *Sorghum* 属の一年生作物である。利用面からみると、子実を食用や飼料とするグレインソルガム、茎に蓄積された糖をシロップなどに利用するスイートソルガム、穂の長い枝梗を筥に利用するハウキモロコシ、茎葉を家畜の粗飼料として利用

する飼料用ソルガムの 4 群に分類される（中村・後藤 2010）。そのうちスイートソルガム（以下、SS とする）は、サトウキビと同様にバイオ燃料作物としての利活用が検討されている（Asagi et al. 2015, 吉田ら 2011a, b）。SS は草丈が長いもので 5m 以上にもなる大型の作物であり、土壌からの養分収奪量も多く連作による土壌肥沃度や収量の低下が懸念される。また、ソルガムの連作により生育障害が発生し、その要因としてソルガム栽培によりもたらされた生育阻害物質の作用と *Fusarium* や *Pythium* 菌等の土壌微生物の加害作用により発生する可能性が報告されている（白山・小松 1996）。一方で、堆肥などの有機物施用により、ソルガムの生育障害の被害が軽減されたとの

2018 年 4 月 12 日受付

2018 年 8 月 16 日受理

Corresponding author

浅木直美 Naomi ASAGI

〒 300-0393 茨城県阿見町中央 3-21-1

3-21-1 Chuo, Ami-Machi, Ibaraki-Ken, Japan

E-mail : naomi.asagi.h@vc.ibaraki.ac.jp

報告もある(後藤ら 2005)。以上のことから、SSを栽培しバイオエタノールを持続的に効率よく生産するためには、輪作体系の導入や堆肥などの有機物施用などを組み合わせ、適切な栽培管理技術を開発する必要がある。

SS茎から糖液を搾汁した後は大量の搾りかす残渣が生じる。この搾りかす残渣を土壤に施用し、作物栽培に利用することができれば、土壤への炭素貯留や養分循環の観点からも有効であると考えられる。Asagi et al. (2015)はSSの搾りかす残渣を土壤表面またはすきこみ施用する処理区と施用しない区を設け、土壤中に施肥した ^{15}N 標識化学肥料由来窒素の作物-土壤間の動態と作物収量をコマツナを用いて評価した。その結果、残渣を施用しない区に比べて、施用(土壤表面とすきこみ)区で化学肥料由来窒素の損失率が減少したこと、搾りかす残渣のすきこみに比べて土壤表面施用でコマツナの収量が高い傾向であったことを報告している。この報告から、SS搾りかす残渣の施用および施用方法によって窒素動態や作物の収量が左右される場合があると推察される。

ウコン(*Curcuma longa* L.)は熱帯原産のショウガ科ウコン属に属する多年生草本である。根茎の粉末はターメリックとして一般に市販されており、黄色の色素として含まれるクルクミンは染料や食品の着色料、香辛料として利用されている(高村 2010)。また、クルクミンには肝機能向上効果や抗酸化作用や抗がん作用などがあることが報告されており(中村ら 2015, Osawa et al. 1995, 須田ら 2005, Esatbeyoglu et al. 2012)、医薬品としても広く利用されている。近年は、機能性食品や飲料としての需要が高まっており(飯田 2001)、その安定的な供給が求められている。ウコンは日本ではおもに沖縄で栽培されているが、青森でも栽培されている事例があることから、日本の多くの地域で栽培は可能と考えられる(金城 2007)。ウコンについて作物学的には、クルクミン類(curcumin, 以下クルクミンⅠ, monodemethoxycurcumin, 以下クルクミンⅡ, bis-demethoxycurcumin, 以下クルクミンⅢ)の含量や組成の種間差や系統間差(森下ら 2009, 2013)、クルクミンの蓄積過程(小林ら 2010)、土壤や施肥、光条件などの栽培技術と収量やクルクミン含有率との関係(Hossain and Ishimine 2005, Akamine et al. 2007, Hossain et al. 2009)などが報告されている。

ウコンの栽培期間は7~9か月間と長く、高い根茎収量を得るためには多くの養分が必要であり、多量の肥料が施用されている(山脇 2014)。また、牛ふん堆肥を10aあたり3トン、4.5トン、5トン施用した場合のウコンの収量を比較したところ、5トンの堆肥を施用した時に最も収量が増加したことが報告されている(金城 2007)。以上のようにウコン栽培では肥料に加え堆肥の施用量も多く必要となると考えられる。有機物である堆肥の施用により、作物に養分を供給する効果に加え、腐植の増加による土壤の透水性や保水性の改良や陽イオン保持能力の増加などが期待できる(松中 2003)。SSは地上部バイオマス量が多く、その残渣を土壤に施用することにより、土壤中の有機物量が増加し、残渣から放出される養分量も多くなり土壤の透水性や保水性も改良されウコンの根茎収量が増加する可能性がある。金城(2007)は、沖縄ではサトウキビとウコンの組み合わせで輪作されることが多いことを報告しているが、本州における輪作に関する研究事例は少ない(山脇 2014)。ウコン生産の点からみても、SSとウコンを組み合わせた輪作は有効と考えられる。

SS栽培では、SSの養分吸収性の高さによる土壤肥沃度の低下、生育阻害物質の発生や土壤有害微生物の増加などの影響による次作SSの収量の低下が懸念される。SS収量の持続的な維持・向上のためにSSの栽培体系に他作物を組み入れた輪作体系の有効性について検討する必要がある。また、ウコン生産の側からみて、輪作による増収効果を評価する必要もある。本研究では、SS栽培を持続的に行う端緒として、輪作物として多量の有機物施用を必要とするウコンに着目した。SS栽培後土壤にウコンを栽培し、SS栽培とSS地上部残渣の施用方法がウコンの生育、収量およびクルクミン含有率におよぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 材料および方法

1) 供試材料

有限会社ワタミファームの圃場(黒ボク土、千葉県富里市)にSS栽培区(圃場面積: $800\text{ m}^2 = 40\text{ m} \times 20\text{ m}$)と無栽培区(圃場面積: $140\text{ m}^2 = 7\text{ m} \times 20\text{ m}$)を設けた。SS栽培区では、SS栽培前に無施肥で、2016年7月25日にSS(*Sorghum bicolor* Moench 品種: スーパーシュガー, カネ

コ種苗株式会社)を散播し、立毛状態で枯死させ2017年4月にSS地上部を刈り取り、細断後、土壌表面に散布した。2017年5月1日に、SS栽培区内の3か所から土壌表面上のSS地上部残渣を採取した。また、同一圃場内のSS地上部残渣がすきこまれていない土壌を深度2~15 cmで採取した。SS無栽培区内の3か所からも同様に土壌を採取した。SS地上部残渣はコドラート(50 cm × 50 cm)を用いて採取し風乾後、各残渣の長さが5 cm未満になるようはさみで裁断した。1 m²あたりのSS地上部残渣風乾重は590 g/m²であった。また、この残渣の一部を粉碎後、全炭素と全窒素含有率をCNコーダ(JM3000CN, ジェイ・サイエンス・ラボ社製)で測定した。その結果、施用したSS地上部残渣は全炭素(TC)含有率43.0%、全窒素(TN)含有率0.92%、C/N比46.8であった。

2) 処理区と栽培管理

圃場より採取した2種類の土壌(「SS栽培区土壌」と「SS無栽培区土壌」)を1/5000 a ワグナーポットに充填し、ウコン(*Curcuma longa* L. タキイ種苗株式会社)の根茎を重さが20 ± 2.5 gとなるよう調整し、深度10 cmで2017年6月2日に植付けた。「SS栽培区土壌」と「SS無栽培区土壌」それぞれに無処理区、化学肥料区、SS地上部残渣を土壌と混和したすきこみ区と土壌表面に敷設したマルチ区の4処理区(合計8処理区、各処理区4反復)を設け、茨城大学農学部圃場内のガラス室にランダムに配置した。全処理区に土壌改良材(マンガン・ホウ素入り混合リン酸肥料、溶リン5% 苦土石灰15%)180 g/m²を、無処理区以外の処理区に化成肥料N:P₂O₅:K₂O = 14:11:13 g/m²をウコンの植付け直前に土壌に混和した。その際、すきこみ区には圃場より採取したSS残渣(600 g/m²風乾重)も混和した。マルチ区ではウコンの植付け後にSS残渣(600 g/m²風乾重)を土壌表面に敷設した。ウコン植付け後4か月(9月下旬)ころまでは1日に2回(午前10時ごろと午後5時ごろ)灌水した。その後は、ウコン地上部の生育が緩慢になったため、3~5日に1回の頻度で灌水した。

3) 生育および収量調査

ウコンの草高、完全展開葉数、最大完全展開葉の葉身長、最大葉幅および葉色値を2~3週間

ごとに調査した。葉色値は葉緑素計(SPAD 502 plus, コニカミノルタ社製)を用いて最大完全展開葉の葉身中央部の中肋部を含まない部分を測定した。

灌水直前(午前9時ごろ、土壌深度0~5.5 cm)の土壌含水率を土壌水分センサー(GS3 土壌水分・温度・ECセンサー, デカゴン社製)で測定した。

収穫は、地上部が黄変し数個体の倒伏が認められた2017年12月6日に行った。地上部を地際からはさみで切り取り根茎と分離した。また、地下部の根茎は植付けした部分と新根茎に分離した。それらを80℃で48時間乾燥後乾物重を電子天秤で測定した。

4) 根茎中の全炭素(TC)・全窒素(TN)およびクルクミン含有率の測定

乾燥した新根茎を粉碎機(MX1200XTM Vita-Mix Blender, WARING社製)を用いて粉碎し、TC(%)とTN(%)をCNコーダ(JM3000CN, ジェイ・サイエンス・ラボ社製)で測定した。また、新根茎中のクルクミン類(クルクミンI, クルクミンII, クルクミンIII)の濃度は、粉碎した粉末0.3 gにメタノール10 mlを加え10分間超音波処理し(小林ら2010)、上清液をメンブレンフィルター(孔径0.45 μm)でろ過した抽出液を用いてLC/MS/MSで測定した。LC/MS/MS装置は島津製作所社製UFLCシステムを接続した3200QTRAP LC/MS/MSシステム(Sciex社製)を用いた。試料溶液5 μLを注入し、TSKgel ODS-100Vカラム(長さ50 mm, 内径2.0 mm, 粒径3 μm; 東ソー社製)を用い、0.1% (v/v) ギ酸を含む水(溶媒A)と0.1% (v/v) ギ酸を含むメタノール(溶媒B)の二溶媒混合グラジェント溶出を行った。溶出条件は、流速0.2 mL/min, カラム温度40℃, 0~6分が50%溶媒Bから100%溶媒Bへのリニアグラジェント溶出, 6~8分が100%溶媒Bのアイソクラティック溶出で行った。イオン源はTurbo V イオンソースをエレクトロスプレーイオン化法(ネガティブモード)を用い、選択反応モニタリング(SRM)法によってクルクミン類を検出した。質量分析計の測定パラメーターはAnalyst 1.6.2ソフトウェア(Sciex社製)を用いて各化合物に最適化した値に設定した。クルクミン類の標準試料(長良サイエンス製)を用いて作成した検量線に基づいて試料中のクルクミン類の濃度を計算した。

表1 供試土壌のウコン植付け前の化学性

土壌の種類	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	硝酸態窒素 (mg/100 gDW)	交換性陽イオン濃度 (mg/100 gDW)			有効態リン酸 (mg/100 gDW)	腐植 (%)
				カルシウム	マグネシウム	カリウム		
SS 栽培区土壌	5.52	0.06	1.27	135	25.8	48.8	4.87	7.07
SS 無栽培区土壌	5.53	0.05	0.95	139	27.9	30.1	4.43	5.60
	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns

*: 5%水準で土壌の種類間に有意差があることを示す ($P < 0.05$, $n = 3$). ns: 有意差なし.

土壌深度 2~15 cm の土壌を採取し調査した.

JA 千葉営農技術センターによる分析値を示す.

5) 統計処理の方法

得られたデータは、土壌の種類（「SS 栽培区土壌」、「SS 無栽培区土壌」）と処理（無処理区、化学肥料区、すきこみ区、マルチ区）間で二元配置の分散分析を行った。また、各土壌の処理区間で多重比較検定（Tukey-Kramer 法）を行った。解析は、エクセル統計（Statcel-The Usefull Addin Forms on Excel-2nd ed.）を用いて行った。

3. 結果

1) 供試土壌のウコン植付け前の化学性

ウコン植付け前の「SS 栽培区土壌」中の交換性カリ濃度は、「SS 無栽培区土壌」に比べて有意に高く、硝酸態窒素、有効態リン酸濃度、腐植含量も高い傾向であった（表1）。

2) ウコンの生育

「SS 栽培区土壌」と「SS 無栽培区土壌」それぞれの4処理区の平均値を比較すると、生育期間をとおして、草高、完全展開葉数は「SS 栽培区土壌」で「SS 無栽培区土壌」に比べて高く推移した（図1（C））。「SS 栽培区土壌」では、生育前半の草高、葉色値、完全展開葉数はマルチ区でもっとも高く推移した（図1（A））。「SS 無栽培区土壌」では、草高と葉色値は植付け後62日目以降はすきこみ区で高く推移した（図1（B））。化学肥料を施用していない無処理区では「SS 栽培区土壌」、「SS 無栽培区土壌」ともにもっとも低かった。

3) 土壌水分含水率

二元配置の分散分析の結果、植付け後21日目の土壌含水率は、「SS 栽培区土壌」で「SS 無栽培区土壌」に比べて有意に高かったが35日目には有意な差は認められなかった（図2（C））。植付け後21日目、35日目ともに土壌の種類と処理との間に交互作用は認められなかった。次に、処理区間で多重比較検定を実施した結果、「SS 栽培区土壌」、「SS 無栽培区土壌」とともに、土壌含水率はマルチ区で他の3処理区に比べて高く、植付け後21日目では、無処理区と化学肥料区に比べて有意に高かった（図2（A）、（B））。

培区土壌」に比べて有意に高かったが35日目には有意な差は認められなかった（図2（C））。植付け後21日目、35日目ともに土壌の種類と処理との間に交互作用は認められなかった。次に、処理区間で多重比較検定を実施した結果、「SS 栽培区土壌」、「SS 無栽培区土壌」とともに、土壌含水率はマルチ区で他の3処理区に比べて高く、植付け後21日目では、無処理区と化学肥料区に比べて有意に高かった（図2（A）、（B））。

4) ウコンの収穫時乾物重とクルクミン含有率

収穫時のウコンの部位別乾物重を図3に、クルクミン含有率および含有量を表2に示した。二元配置の分散分析の結果、植付け時の根茎、新根茎と地上部合計の全乾物重は、「SS 栽培区土壌」で「SS 無栽培区土壌」に比べて有意に高かった。地上部乾物重も有意に「SS 栽培区土壌」で高かった。また、地上部乾物重には土壌の種類と処理との間に交互作用が認められたが、植付け時の根茎、新根茎、全乾物重では認められなかった。「SS 栽培区土壌」の4処理区間では、新根茎乾物重はマルチ区でもっとも大きく、ついで化学肥料区であった。「SS 無栽培区土壌」では化学肥料区でもっとも大きく、ついでマルチ区であった（図3（A）、（B））。

新根茎中のクルクミン類のうち、クルクミンⅠの含有率が最も高く主成分であった。次いでクルクミンⅡ、Ⅲの順であったが、処理区間での傾向は3種類ともに同様であった（表2）。クルクミン含有率は、「SS 栽培区土壌」で「SS 無栽培区土壌」に比べて高い傾向であったが有意な差異は認められなかった。処理区間で多重比較検定を実施した結果、総クルクミン含有率は「SS 栽培区土壌」では、無処理区でもっとも高く、化学肥料

図1 ウコンの草高，葉色値，完全展開葉数の推移
図中のバーは標準誤差 (n=4) を示す。

図2 植付け後21日目と35日目の土壌含水率
図中のバーは標準誤差 (n=4) を示す。
図中の同一英字間では有意差がないことを示す (Tukey-Kramer 法 $P < 0.05$, $n = 4$)。

図3 収穫時のウコンの乾物重

図中のバーは標準誤差 (n=4) を示す。

図中の大文字の同一英字間では全乾物重について、小文字の同一英文字間では地上部乾物重と新根茎乾物重について有意差がないことを示す (Tukey-kramer 法 $P < 0.05$, $n = 4$)。

植付け時根茎乾物重に処理区間で有意差なし。

表2 収穫時のウコン新根茎のクルクミン含有率と含有量

土壌	処理	クルクミン含有率 (mg/100 g DW)				総クルクミン		TC (%)	TN (%)	C/N	新根茎乾物重 / 新根茎 N 含有量
		クルクミン I	クルクミン II	クルクミン III	総クルクミン	含有量 (mg/株)					
SS 栽培	無処理区	157.5 a	33.7 a	2.22 a	193.4 a	35.2		43.4 c	0.41 b	105.4 a	243 a
	化学肥料区	79.8 b	12.6 b	1.00 ab	93.4 b	25.9		44.4 ab	0.72 a	65.2 b	147 b
	すきこみ区	74.2 b	11.9 b	0.90 b	87.0 b	21.8 ^{ns}		43.8 bc	0.68 ab	65.2 b	149 b
	マルチ区	106.5 ab	19.1 b	1.50 ab	127.1 ab	36.9		44.6 a	0.52 ab	86.6 ab	194 ab
SS 無栽培	無処理区	99.5	17.3	1.30	118.1	20.0		43.6	0.52 b	85.2 a	196 a
	化学肥料区	78.1	10.9	0.90	89.9	23.0		43.5	0.86 a	50.8 b	117 b
	すきこみ区	70.0 ^{ns}	10.0 ^{ns}	0.90 ^{ns}	80.8 ^{ns}	20.3 ^{ns}		43.9 ^{ns}	0.91 a	48.4 b	110 b
	マルチ区	107.1	20.0	1.60	128.7	31.7		43.8	0.49 b	89.4 a	204 a
平均	SS 栽培	96.9	17.3	1.29	115.5	29.9		44.0 A	0.59 B	80.6 A	183 A
	SS 無栽培	87.9 ^{ns}	14.4 ^{ns}	1.17 ^{ns}	103.5 ^{ns}	23.8 ^{ns}		43.7 B	0.70 A	68.5 B	157 B
交互作用 (土壌×処理)		ns	ns	ns	ns	ns		*	ns	ns	ns

表中の大文字の同一英字間では SS 栽培と SS 無栽培との間で、小文字の同一英文字間では SS 栽培および SS 無栽培の各処理区間で有意差がないことを示す (Tukey-Kramer 法 $P < 0.05$, $n = 4$)。*: 二元配置の分散分析結果より 5% 水準で土壌と処理の間に交互作用があることを示す。ns: 有意差なし。

区とすきこみ区に比べて有意に高かったが、マルチ区との間に有意差は認められなかった。「SS 無栽培区土壌」では、マルチ区でもっとも高く、ついでは無処理区であったが、4 処理区間に有意差は認められなかった。「SS 栽培区土壌」、「SS 無栽培区土壌」とともにクルクミン含有率はすきこみ区でもっとも低かった。ウコンの新根茎乾物重と総

クルクミン含有率をかけて求めた総クルクミン含有量は、「SS 栽培区土壌」、「SS 無栽培区土壌」とともにマルチ区でもっとも多かったが、処理区間に有意差は認められなかった。

二元配置の分散分析の結果、新根茎の TC (%), C/N 比, 新根茎乾物重 / 新根茎 N 含有量比は、「SS 栽培区土壌」で「SS 無栽培区土壌」に比べて有

意に高かった(表2)。一方、TN(%)は逆に「SS無栽培区土壌」で「SS栽培区土壌」に比べて有意に高かった。また、新根茎のTC(%)には土壌の種類と処理との間に交互作用が認められた。次に、処理区間で多重比較検定を実施した結果、「SS栽培区土壌」では、マルチ区のTC(%)が無処理区とすきこみ区に比べて有意に高かった。TN(%)は化学肥料区でもっとも高く、無処理区とマルチ区で低かった。C/N比は無処理区で、化学肥料区とすきこみ区よりも有意に高く、マルチ区とは有意差は認められなかった。「SS無栽培区土壌」では、TC(%)について処理区間の差は認められなかったが、TN(%)は無処理区とマルチ区で化学肥料区とすきこみ区に比べて有意に低かったため、C/N比は逆に無処理区とマルチ区で他の2処理区に比べて有意に低かった。新根茎乾物重/新根茎N含有量比もC/N比と同様の傾向であった。

4. 考察

1) SS栽培の有無が後作ウコンの根茎収量とクルクミン含有率におよぼす影響

植物体内において主としてイオン状態で存在するカリウムは他の元素に比べて植物体より溶出しやすいと考えられている(Kim et al. 1986)。また、イネ科のカバークロップであるライムギなどの利用は、夏作物栽培後土壌に残留した窒素の溶脱抑制効果があることが報告されている(辜ら2004)。本実験では、SS栽培により土壌中の交換性カリウム濃度が有意に増加し、硝酸態窒素や有効態リン酸濃度も増加する傾向であった(表1)。これは、立毛状態で2017年4月に刈り取ったSS地上部または地下部残渣からカリウムの溶出が他の養分に比べて早く起こったことやSSが地面を被覆し、土壌からの養分溶脱が抑制されたことが要因であると考えられる。

ウコンの根茎収量とクルクミン含有率は窒素とカリウムの複合施肥によって増加することが報告されている(Akamine et al. 2007)。本実験においてSS栽培によりウコンの生育、収量およびクルクミン含有率が増加する傾向が認められた(図1, 図3, 表2)。これは、SS栽培により土壌中の交換性カリウム濃度や硝酸態窒素濃度が増加したことによると推察された。

2) SS残渣の施用方法が後作ウコンの根茎収量とクルクミン含有率におよぼす影響

マルチ区ではウコンの収量、クルクミン含有率が化学肥料区やすきこみ区に比べて統計的な差異はないものの高い傾向であった(図3, 表2)。Asagi et al. (2015)は、SS残渣をマルチとすることで、SS残渣を施用しない場合と比較してコマツナの収量が増加する傾向が認められたことを報告している。また、一般的にウコンは乾燥に弱いとされている。本実験では、マルチ区で土壌の含水率がもっとも高かったこと(図2)も収量とクルクミン含有率を増加させる要因となったと考えられる。一方、SS残渣のすきこみによって収量やクルクミン含有率を増加させる効果は認められなかった。ウコン植付け後48日目の草高や葉色値は、すきこみ区で化学肥料区やマルチ区より低かったことから(図1)、C/N比が46.8と高いSS残渣を土壌にすき込んだことで窒素の有機化が起こりウコンの初期生育を阻害した可能性もある。以上の結果より、SS残渣は土壌にすきこむよりも土壌表面施用したほうがウコンの収量と品質を向上できる可能性が示唆された。実際の生産現場で効率的にSS残渣を土壌表面施用する方法について今後検討する必要がある。

3) SS栽培の有無や残渣の施用方法が新根茎中のC/N比およびクルクミン類の組成におよぼす影響

ウコン新根茎中のTN(%)は無処理区とマルチ区で低く、C/N比は高かった(表2)。無処理区は化学肥料を施用していないため、TN(%)が低くなったと考えられた。一方、マルチ区では化学肥料区とすきこみ区と同量の化学肥料を施用しているにもかかわらずTN(%)が低かった。この要因の詳細は不明であるが、窒素の贅沢吸収が抑えられ、吸収窒素あたりの乾物生産性が高くなったと推察される。

クルクミン類(クルクミンⅠ, クルクミンⅡ, クルクミンⅢ)の組成は、ウコンの系統間で異なることが報告されている(森下ら2013)。一方、土壌の種類や栽培条件がクルクミン類の組成に及ぼす影響についての報告は見当たらない。本研究において、土壌の種類やSS残渣の施用方法によるクルクミン類の組成への影響は認められず、クルクミンⅠの濃度が最も高く、次いでクルクミンⅡ, クルクミンⅢの順であった(表2)。よって、

SS栽培と残渣マルチによる栽培管理は、クルクミン類の組成に影響を与えないと考えられ、品質管理の上での問題はないと考えられた。

以上の結果より、SSとウコンを1作のみ作付した場合には、SS栽培は土壌交換性カリ濃度を増加させ、SS残渣マルチは土壌の保水性を高めることでウコンの収量やクルクミン含有量を向上させる可能性が示唆された。今後は搾りかす残渣を用いた長期的な圃場試験を実施することにより、ウコンの収量と品質について調査するとともに、SSの生育障害の有無などについても調査する必要がある。

引用文献

- Akamine H, Hossain MA, Ishimine Y, Yogi K, Hokama K, Iraha Y, Aniya Y (2007) : Effect of application of N, P and K alone or in combination on growth, yield and curcumin content of turmeric (*Curcuma longa* L.), Plant Production Science 10(1) : 151-154.
- Asagi N, Miya T, Homma T, Shiotsu F, Kokubo T, Nitta Y, Ueno H, Sato T, Komatsuzaki M, Kato A (2015) : Fate of ¹⁵N-labeled inorganic fertilizer in an upland soil applied with sweet sorghum bagasse and N uptake efficiency by komatsuna plants, Plant Production Science 18 : 535-541.
- Esatbeyoglu T, Huebbe P, Ernst IMA, Chin D, Wagner AE, Rimbach G (2012) : Curcumin—from molecule to biological function, Angewandte Chemie International Edition 51 : 5308-5332.
- 後藤和美・我々満・桂真昭・松岡秀道(2005) : ソルガム類初期生育障害に対する堆肥およびリン酸施用の効果, 九州農業研究 67 : 110.
- 辜松・小松崎将一・森泉昭治・牟英輝(2004) : カバークロップの利用と土壌窒素動態, 農作業研究 39(1) : 9-16.
- Hossain MA, Ishimine Y (2005) : Growth, yield and quality of turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated on dark-red soil, gray soil and red soil in Okinawa, Japan, Plant Production Science 8 (4) : 482-486.
- Hossain MA, Akamine H, Ishimine Y, TeruyaR, Aniya Y, Yamawaki K (2009) : Effects of relative light intensity on the growth, yield and curcumin content of turmeric (*Curcuma longa* L.) in Okinawa, Japan, Plant Production Science 12 (1) : 29-36.
- 飯田修(2001) : 日本における薬用植物栽培の現状と課題, 日本作物学会紀事 70(3) : 463-464.
- Kim SA, Yoshia S, Kayama R (1986) : Potassium leaching from living forages, 日本草地学会誌 32(2) : 95-101.
- 金城鉄男(2007) : 秋ウコン・春ウコン・ガジュツの栽培と加工・利用, 新特産シリーズ ウコン, 農文協, 東京.
- 小林徹也・宮崎彰・松澤篤史・黒木美一・島村智子・吉田徹志・山本由徳(2010) : ウコンおよびハルウコンの根茎発達に伴うクルクミンの蓄積経過, 日本作物学会紀事 79(1) : 10-15.
- 松中照夫(2003) : 土壌学の基礎, 農文協, 東京.
- 森下敏和・山口博康・出花幸之介・清水明美・中川仁(2009) : 関東で栽培したウコン類の生育・収量形質の比較, 日本作物学会紀事 78 (4) : 509-514.
- 森下敏和・山口博康・出花幸之介・清水明美・中川仁(2013) : 関東で栽培したウコン類のクルクミン類の含量および抗酸化能の比較, 日本作物学会紀事 82(1) : 56-62.
- 中村聡・後藤雄佐(2010) : ソルガム, 日本作物学会編, 作物学用語辞典, 農文協, 東京, pp.240-241.
- 中村聡・後藤雄佐・新田洋司(2015) : ショウガ科, 作物学の基礎Ⅱ 資源作物・飼料作物, 農文協, 東京, pp.126-127.
- Osawa T, Sugiyama Y, Inayoshi M., Kawakishi S (1995) : Antioxidative Activity of Tetrahydrocurcuminoids, Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry 59(9) : 1609-1612.
- 白山竜次・小松敏憲(1996) : 南九州におけるソルガムの生育障害に関する研究 2. 土壌処理および障害株の移植が障害の発生に及ぼす影響, 日本草地学会誌 42(3) : 251-254.
- 須田郁夫・沖智之・西場洋一・増田真美・小林美緒・永井沙樹・比屋根理恵・宮重俊一(2005) : 沖縄県産果実類・野菜類のポリフェ

- ノール含量とラジカル消去活性, 日本食品科学工学会誌 52(10) : 462-471.
- 高村奉樹 (2010) : 染料作物, 日本作物学会編, 作物学用語辞典, 農文協, 東京, pp.298-299.
- 山脇賢治 (2014) : アーバスキュラー菌根菌とマメ科緑肥作物を利用したウコン (*Curcuma longa* L.) の低投入型栽培に関する研究, 大阪府立大学博士学位論文.
- 吉田貢士・加藤 亮・乃田啓吾・Krissandi Wijaya・黒田久雄 (2011a) : 播種日, 施肥量の違いが燃料作物スイートソルガムの窒素吸収に及ぼす影響, 応用水文 23 : 11-20.
- 吉田薫平・乃田啓吾・吉田貢士・加藤 亮 (2011b) : 耕作放棄地で栽培のスイートソルガムを原料とするバイオエタノール生産システムの評価, 農業農村工学会資源循環研究部会論文集 7 : 61-66.

Abstract

The objective of this study is to evaluate the influence of sweet sorghum (SS) cultivation and the application of SS aboveground residues on growth, yield and curcumin content of turmeric. The soils in SS cultivation area and SS non-cultivation area were placed into Wagner pots (diameter: 16 cm, height: 19 cm) in a greenhouse. The pots with SS cultivated

soil and SS non-cultivated soil were subjected to four treatments: (1) no fertilizer (NF), (2) chemical fertilizer (CF), (3) CF with SS residue incorporation into the soil (INC), and (4) CF with SS residue surface application (SUR). One seed-rhizome (20 g) of turmeric per pot was planted on June 2, 2017. The aboveground portion and rhizome of turmeric were harvested on December 6, 2017. The exchangeable K_2O concentration in SS cultivated soil was significantly higher than that in SS non-cultivated soil before turmeric planting. Soil moisture content in the early growth stage of turmeric was higher in SUR than in other treatments in both SS cultivated and non-cultivated soils. Dry weight and curcumin content of turmeric rhizome at harvest were higher in SS cultivated soil than in SS non-cultivated soil and was higher in SUR than in other treatments. From these results, SS cultivation increased soil exchangeable K_2O concentration and SS residue surface application increased soil water retentivity, which might increase the yield of turmeric and curcumin content.

Key Words

crop rotation, curcumin, sweet sorghum, turmeric