

飼料イネにおける葉緑素計 SPAD-502を用いた β -カロテン含量の簡易判定

細谷 肇・沼尾真人^{*1}・宮本光浩^{*2}

Simplified Evaluation of β -Carotene Content of Forage Rice
by the Chlorophyll Meter (SPAD-502)

Hajime HOSOYA, Makoto NUMAO^{*1} and Mitsuhiro MIYAMOTO^{*2}

要 約

植物体中に含まれる β -カロテンの精密な測定は、生産現場においての迅速な対応には適さない。そこで、測定が容易なハンディタイプの葉緑素計を用い、品種、圃場、栽培年次、生育期の異なる飼料イネ88点の葉色から β -カロテン含量推定の可能性を検討し、一定の精度をもって圃場で簡易判定できる基準を定めた。葉緑素計 SPAD-502を用い、イネの上位第3葉あるいは最上位葉により葉緑素含量の指示値 (SPAD 値) を測定した。 β -カロテン含量は茎葉及び穂を含む全草として比色法により分析した。両者の値を解析したところ、SPAD 値から回帰式によって β -カロテン含量を精度高く推定することは困難であったが、上位第3葉あるいは最上位葉の SPAD 値が30以下であれば、 β -カロテン含量が原物中で15mg/kg以下、乾物中で40mg/kg以下にほぼ例外なく低減していた。本結果から、 β -カロテン含量水準の簡易判定法として、品種、圃場、栽培年次、生育期の異なる多様な条件下で葉緑素計の応用が可能と考えられた。

緒 言

稲発酵粗飼料 (イネホールクロップサイレージ、以下ではイネ WCS と表記) は、水田の有効活用と粗飼料自給率向上の観点から生産利用の拡大が推進され、肉牛肥育経営においては豊富に含まれるビタミン E による肉色保持効果や酸化防止効果も期待される飼料である¹⁾。しかし、イネ WCS は稲わりに比べて β -カロテン含量が高いため、高い脂肪交雑を狙うビタミン A 制御型の黒毛和種や交雑種肥育農家において肥育中期以降の給与に制限が求められる²⁾。そこで、圃場で飼料イネの β -カロテン含量を把握し、収穫時期を適切に決定する等の措置が必要である。

しかし、 β -カロテンの測定は分析前処理の工程が煩雑で時間を要するうえ、光や酸素による分解で含量が減少するので、遮光や温度について適切なサンプル管理が必要など、生産現場での迅速かつ正確な対応には困難を伴う³⁾。植物体中の β -カロテンは光合成に関与するこ

とから葉緑素含量と正の相関があるとされ、イネの葉緑素を簡易測定するハンディタイプの葉緑素計を用いて葉色から β -カロテン含量の推定を行った複数の知見^{3,4)}がある。ただし、いずれも分析数が少なく断片的で広い適用性には問題が残る³⁾。

そこで品種、圃場、栽培年次、生育期の異なる多様なイネの葉色から β -カロテン含量推定の可能性を検討し、一定の精度をもって圃場で簡易判定できる基準の策定を試みた。

材料及び方法

1. 供試イネ

表1のとおり、延べ88点の飼料イネを供試した。

千葉県東金市1圃場で品種比較試験として2009年に栽培した8品種と2011年に栽培した5品種、千葉県香取市4圃場で2011年に栽培した3品種 (2圃場は同一品種「夢あおば」の栽培) を供試した。各品種について出穂期から以後10日ごとに葉色測定と β -カロテン分析を実施した。なお、最長は出穂60日後までとし、香取市の1品種については出穂20日前から実施した。それぞれのサンプリングごとに穂部の登熟の程度を確

平成24年8月31日受付

^{*1} 現千葉県農林水産部畜産課

^{*2} 前千葉県香取農業事務所、現千葉県印旛農業事務所

表1 供試品種と測定・分析の時期

区分	品種名	品種用途	出穂期 (月日)	出穂期を起点(0)とした日数								
				-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
東金市圃場 2009年	夢あおば	飼料用	8/6			○	○	○	○	○	○	
	ホシアオバ	飼料用	8/11			○	○	○	○	○	○	
	たちすがた	飼料用	8/18			○	○	○	○	○	○	
	モミロマン	飼料用	8/22			○	○	○	○	○	○	
	クサホナミ	飼料用	8/29			○	○	○	○	○	○	
	はまさり	飼料用	9/3			○	○	○	○	○	○	
	リーフスター	飼料用	9/6			○	○	○	○	○	○	
	ちば28号	主食用	7/31			○	○	○	○	○	○	
東金市圃場 2011年	夢あおば	飼料用	8/11			○				○	○	○
	ホシアオバ	飼料用	8/15			○	○	○	○		○	○
	モミロマン	飼料用	8/21						○	○	○	○
	リーフスター	飼料用	9/4			○	○	○	○	○	○	○
	ちば28号	主食用	8/5				○	○	○	○	○	○
香取市圃場 2011年	夢あおば	飼料用	8/2				○	○	○	○		
	ホシアオバ	飼料用	8/12			○	○	○	○	○		
	リーフスター	飼料用	9/2	○	○	○	○	○	○			

○を付した時点に葉色測定とβ-カロテン分析を実施

認して生育期を把握した。

東金市圃場は乾田直播で栽培し、窒素基肥として2009年に13.0kg/10a(家畜糞堆肥1t/10a+化成)、2011年に22.6kg/10a(家畜糞堆肥2t/10a+化成)を施用した。香取市圃場はいずれも移植栽培で、窒素基肥(塩安)を6.0kg/10a施用した。すべて追肥は実施しなかった。

2. 葉緑素計による葉色の測定

葉緑素計 SPAD-502⁵⁾ で葉緑素含量の指示値(SPAD値)を測定した(図1)。東金市圃場では立毛状態にて測定、香取市圃場ではサンプリングした検体を黒ポリエチレン袋にて遮光・冷蔵のうえ直ちに当セ



図1 葉緑素計 SPAD-502

ンター(八街市)に運搬し測定した。測定対象とする葉の部位により、以下の2方法で行った(図2)。

- (1) 千葉県水稻調査基準⁶⁾による方法:生育が中庸な10株について最長茎の止葉を第1葉とした場合の第3葉(以下で、上位第3葉と表記)の中央部で測定し、その平均値を用いる(出穂前は最上展開葉から数えて2枚目の葉で測定)。
- (2) 平岡ら^{3,7)}の方法:圃場の生育が平均的な3地点から健全な最上位葉(止葉)を選び、葉身全長を約5等



図2 葉色測定葉・部位

- (1)実戦丸:千葉県水稻調査基準
(上位第3葉身中央部)
- (2)点線丸:三重県の方法
(最上位葉身5か所)

分して葉身5か所を測定した平均をそのSPAD値とし、さらに3地点の平均値を用いる。

3. β-カロテンの分析

分光光度計を用いる簡易比色法⁹⁾に拠り分析を行った。生育の中庸な2~3株を刈り高10cmでサンプリングし、全草(茎葉部及び穂部)を約2cmに細切して十分に混和し、直ちに分析に供した。香取市の検体は、刈取り後に遮光・冷蔵で当センターに運搬し、細切・分析を行った。

結 果

1. イネの品種別による出穂後β-カロテン含量の推移

2009年に東金市圃場で供試した8品種のβ-カロテン含量について、出穂期から10日ごとに収穫50日後までの推移を、図3(原物中含量)と図4(乾物中含量)に示した。

各品種とも出穂後日数が経過するに伴い、β-カロテン含量が低下した。生育の進行とともに低下する結果であり、これはどの品種にも共通した。

しかし、β-カロテン含量の高低と、生育に伴う低下の程度には品種間差が認められた。出穂期から出穂10日後の比較的若い段階では、「ちば28号」「夢あおば」「ホシアオバ」など早生系品種での含量が高く、乾物中としてみた場合にその傾向が強かった。一方、出穂30日以降は品種間の差が狭まる傾向にあり、早生系品種のほうが生育に伴う含量の変動が大きかった。

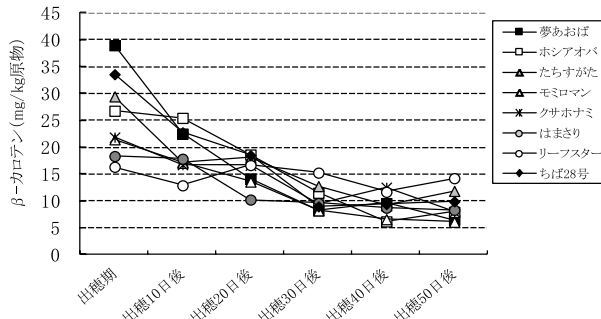


図3 出穂期以降の品種別β-カロテン含量(原物中)の推移(東金市圃場2009年)

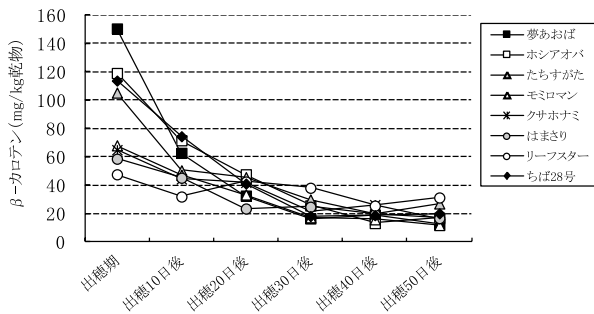


図4 出穂期以降の品種別β-カロテン含量(乾物中)の推移(東金市圃場2009年)

2. 生育期からみたβ-カロテン含量の把握

全供試品種について、サンプリングごとに確認した生育期とβ-カロテン含量の関係を図5に示した。各生育期において含量のばらつきが大きく、生育段階によって含量を定めることは不可能であった。黄熟期になると原物中25mg/kgを超えることがなくなり全体的に低下するが、早い生育期から含量が低いものもあり、すべて一律に黄熟期で低下するわけではなかった。

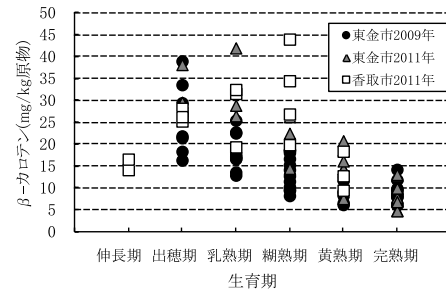


図5 生育期と原物中β-カロテン含量(全供試品種)

生育期と上位第3葉SPAD値の関係を図6に示した。同じ生育期でもSPAD値に大きな幅が認められた。

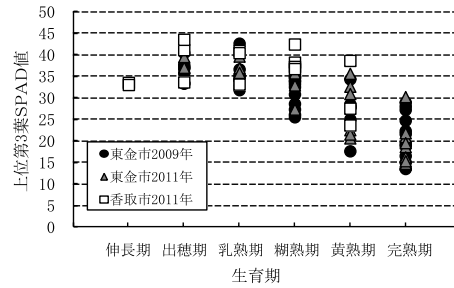


図6 生育期と上位第3葉色(全供試品種)

3. 葉色によるβ-カロテン含量の判定

供試した全88検体について、上位第3葉のSPAD値とβ-カロテン含量の関係を図7(原物中含量)、図8(乾物中含量)に示した。最も適した回帰曲線(多項式近似)を用いてもR²値は0.6から0.7であった。

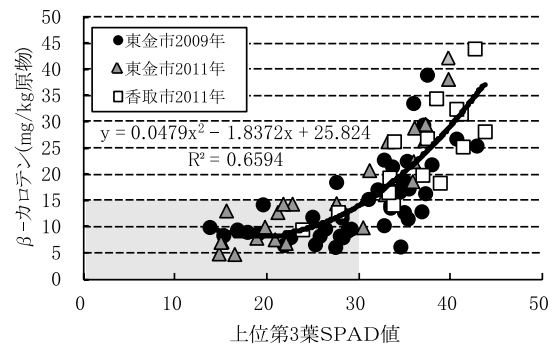


図7 上位第3葉色による原物中β-カロテン含量の判定

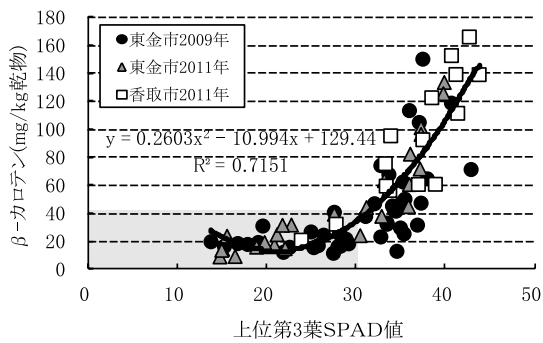


図8 上位第3葉色による
乾物中β-カロテン含量の判定

同様に、最上位葉で測定したSPAD値を用いた場合を図9（原物中含量）と図10（乾物中含量）に示した。SPAD値が比較的高い範囲ではデータのばらつきが大きく、上位第3葉の場合より精度が低い傾向で、最も適した回帰曲線（指数近似）を用いてもR²値は0.5と低かった。

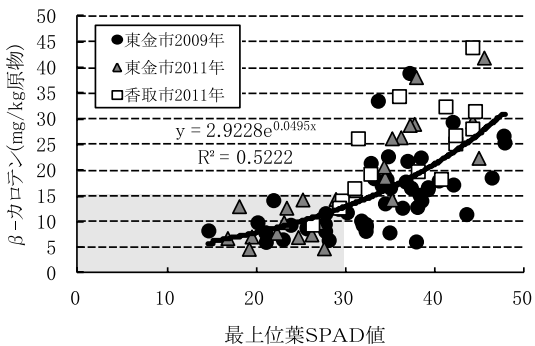


図9 最上位葉色による
原物中β-カロテン含量の判定

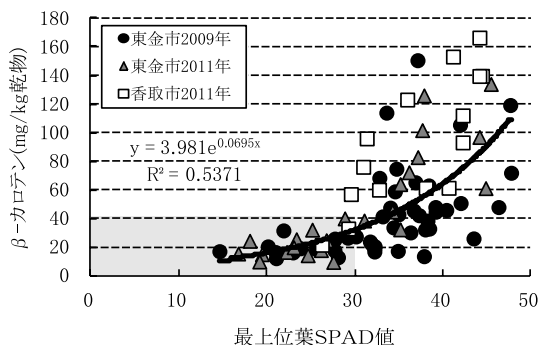


図10 最上位葉色による
乾物中β-カロテン含量の判定

しかし、上位第3葉、最上位葉いずれの測定でも、SPAD値が30以下になった場合、ほぼ例外なくβ-カロテン含量が原物中で15mg/kg以下、乾物中で40mg/kg以下の範囲にあり、変動が小さかった（図7、図8、図9、図10の網掛け部分）。

考 察

これまで、立毛中のイネのβ-カロテン含量は生育の進行に伴い低下し、乳熟期から黄熟期に急激に減少するとされた^{9,10}。図3及び図4から、生育の進行に伴う低下は確実であるが、含量の水準と低下の程度には品種間差があって早晚性の影響が大きいと考えられた。また全体的な評価の中では生育の進行に伴いβ-カロテン含量は低下傾向にあるものの、図5から、同じ生育期でもβ-カロテン含量は検体により差が大きく一様でないため、一律に乳熟期から黄熟期に急激に減少するとは捉え難い。品種間差があること、生育期を指標としにくいことが、β-カロテン含量を簡易に把握する試みを困難にしていると考えられる。

また図6に示すように、生育期と葉色の関係もばらつきが大きい。そのため、客観的指標としての可能性が指摘されている葉色によるβ-カロテン評価^{3,4}を検討する場合に、生育期を把握する必要性は低いと判断された。

以上を踏まえ、供試した全88検体についてSPAD値とβ-カロテン含量の関係に何らかの共通項を見出すことが客観的な評価法につながると考えた。今回供試したイネ検体の内容は、品種や生育期の違いを基本に、十分とは言えないが栽培年次、圃場、施肥の異なる比較的多様な構成となっているので、ここから見出された結論は多くの現場に適用可能で汎用的な判定法を導くものと考えられる。

しかし、図7、図8、図9、図10では、曲線回帰の結果及びY軸方向のデータ分布幅をみても、SPAD値によって回帰式から精度の高い含量推定を行うことは不可能である。これは、前述したように品種間差があること、生育期が指標とならないことなど、含量の推移についてばらつきが大きいことが影響していると考えられる。

以上からSPAD値もβ-カロテン含量の完全な指標とは成り得ないが、各図に共通して認められるのは、結果の項で示したようにSPAD値が30以下になった場合の含量水準である。その場合、原物中で15mg/kg以下、乾物中で40mg/kg以下の範囲にほぼ例外なくあるということは、葉緑素計を用いた簡易判定法として、SPAD値が30以下になればそのイネはβ-カロテン含量が確実に低減していると結論することができる。このことは、これまでの知見^{3,4}について検証しても同様に当てはまることが確認されており、品種、圃場、栽培年次、生育期の異なる多様な条件下で適用可能と考えられる。

圃場で実施できる簡易判定法として、全体的な精度は上位第3葉で測定したほうが高いと考えられるが、最上位葉による方法は測定者が葉を捕捉しやすいので、作業的に容易で早く終わることができ簡便法としての価値がある。また、葉色測定にあたって正確な数値を得るための留意点として、病害虫による被害や葉身組織の枯死・

脱落のない健全葉によって行う必要がある。ただし、生育に伴う自然な枯れ上がりの場合はこの限りでない。

稲ワラのβ-カロテン含量は原物中でも乾物中でもほぼ10mg/kg以下に収まるか¹¹⁾、今回示したβ-カロテン含量15mg/kg原物(40mg/kg乾物)という値はビタミンAに換算¹⁰⁾すると約6,000IU/kg原物に相当する。仮に肥育牛のビタミンA要求量を20,000IU/日とすると、β-カロテン含量15mg/kg原物のイネは3kg/日給与で要求量の90%強を占めることになり、決して低い水準ではない。しかし、葉緑素計ではこれより細密なβ-カロテン含量把握は困難であるので、黒毛和種や交雑種肥育を対象とした場合、SPAD値30以下で飼料イネを収穫するという客観的指標としての活用が妥当である。イネWCS中のβ-カロテン含量は、貯蔵中に徐々に減少するが¹⁰⁾、圃場での簡易判定がより重要となる。

引用文献

- 1) 中西直人・山田知哉・河上眞一・井出忠彦・石崎重信・吉羽宣明・石田元彦(2009)、稲発酵粗飼料給与が牛肉中のビタミンE含量と貯蔵性に及ぼす影響、地域農業確立総合研究/関東地域における飼料イネの資源循環型生産・利用システムの確立/最終報告書Ⅱ/研究報告編:237-249
- 2) 全国飼料増産協議会編(2011)、肉用牛への給与、稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル、全国飼料増産協議会:83-98
- 3) 全国飼料増産協議会編(2011)、葉緑素計を用いたβ-カロテン含量の簡易推定法/稲発酵粗飼料の飼料特性、稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル、全国飼料増産協議会:54、72
- 4) 関 誠・小柳 渉・宮腰雄一・和田富広・高橋英太・石崎和彦(2009)、施肥水準・収穫時期・品種の違いと飼料イネの成分や第一胃内消失率の関係、平成17年度関東東海北陸農業研究成果情報、畜産草地部会18
- 5) KONICA MINOLTA(2009)、ニュースリリース/植物の発育状況をチェック/葉緑素計「SPAD-502Plus」、http://www.konicaminolta.jp/about/release/2009/1008_02_01.html「2012年8月27日参照」
- 6) 千葉県・千葉県農林技術会議(2001)、水稻調査基準、稲作標準技術体系:291-294
- 7) 平岡啓司・山本泰也・浦川修司・山田陽稔・神田幸英・小西信幸(2004)、葉緑素計(SPAD-502)を用いた飼料イネ(*Oryza sativa* L.)β-カロテン含量の推定法の検討、日草誌50(2):205-207
- 8) 小柳 渉・安藤義昭(2006)、粗飼料・葉菜中β-カロテンの簡易分析法、平成18年度関東東海北陸農業研究成果情報、畜産草地部会2
- 9) 平岡啓司・小出 勇・田中善之・浦川修司・山田陽稔・神田幸英・小西信幸(2001)、WCS用イネの生育にともなうβ-カロチン含量の推移、平成13年度関東東海北陸農業研究成果情報、畜産草地部会
- 10) 全国飼料増産協議会編(2011)、WCS用イネのβ-カロテンおよびビタミンE(α-トコフェロール)含量、稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル、全国飼料増産協議会:51-52
- 11) ㈱農業・食品産業技術総合研究機構編(2010)、日本標準飼料成分表(2009年版)、(社)中央畜産会:240