

NDVI センサーを用いた小麦品種「きぬあかり」の生育調査の簡易化

尾賀俊哉¹⁾・船生岳人²⁾・伴 佳典³⁾・森崎耕平¹⁾・加藤 満⁴⁾

摘要:小麦品種「きぬあかり」の茎立期の生育指標値(草丈、茎数、葉色の積)は茎立期の窒素施肥量を判断するには有効な手段だが、多大な労力を要し、簡易化が求められていた。携帯型センサー(以下、NDVIセンサー)の計測値と茎立期の生育指標値には高い相関があることが判明した。NDVIセンサーによる計測は簡易で、生育調査法として有効であると考えられた。

キーワード: きぬあかり、NDVI 値、生育指標値、茎立期追肥

Simplification of Growth Investigations of the Wheat Cultivar 'Kinuakari' with an NDVI Sensor

OGA Toshiya, FUNAO Taketo, BAN Yoshinori, MORISAKI Kohei and KATO Mitsuru

Abstract: Growth index value (plant length × stem number × leaf color) of the jointing stage of the wheat cultivar 'Kinuakari' is an effective means of determining the amount of nitrogen fertilization. However, substantial effort is required for investigation, and a simplified method is desired. There is a high correlation between the measured value using an NDVI sensor and the growth index value at the jointing stage, and since measurement with the sensor was straightforward, it could be effective as a growth investigation technique.

Key Words: Kinuakari, NDVI, Growth index value, Growth investigation

本研究の一部は日本作物学会東海支部 150 回講演会(2019.10.24)において発表した。また、一部は「公益社団法人農林水産.食品産業振興協会委託試験」により実施した。

¹⁾作物研究部 ²⁾作物研究部(現普及戦略部) ³⁾作物研究部(現研究戦略部) ⁴⁾作物研究部(退職)

(2021.9.8受理)

緒言

「きぬあかり」は愛知県農業総合試験場(以下、農総試)が育成した多収性の日本麺用小麦品種である。きぬあかりは従前普及していた「農林61号」より2割多収となる品種特性を有することから愛知県では目標収量を480 kg/10 aとし、達成するために窒素施肥量を10 a当たり、基肥で8 kg、分けつ期追肥(以下、追肥I)で4 kg、茎立期追肥(以下、追肥II)で4 kgの施肥基準を定めた¹⁾²⁾。しかしながら、施肥基準に基づき窒素施肥を行っているにも関わらず、施肥時の植物体の生育状況は考慮しておらず、収量及び品質は年次、地域あるいはほ場の栽培条件によって大きく変動しており、実需者からは品種(特に子実タンパク質含有率、以下タンパク質含有率)と収量の安定が求められている。このため、愛知県では生産者と実需者との間でタンパク質含有率を9.0~9.5%、収量を480 kg/10 aとする目標値が同意されている。

そこで、伴ら(2017)は生育状況によって追肥窒素量を判断する方法を開発した。これは、茎立期の草丈と茎数と葉色の積(以下、生育指標値)と収量の間には高い正の相関があり、その生育指標値を基に「きぬあかり」の収量及び品質の安定化するために必要な窒素施肥量を判断する方法である³⁾⁴⁾。その後、生産現場での改善等により、2018年から2020年産では小麦の単収当たりの収量は愛知県が都道府県別で一位となった⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

しかし、現場で生育指標値を得るために、調査地点1点当たり10株の草丈、葉色、1~2 m・1条の茎数を測定する必要があり、多大な時間、労力を要する。よって、現場で生産者自身が実施するのは容易ではなく、簡易な調査法が求められていた。

NDVI値を簡易に測定できる携帯型センサー「Greenseeker Handheld Crop Sensor (株式会社ニコン・トリンプル、東京、以下、Greenseeker)」が市販化された。NDVI値は正規化植生指数と呼ばれ、植生の有無や多少、活性度を表す指標とされている⁸⁾。このセンサーを用いた測定はわずか数秒で終了し、労力もほとんど必要としない。

そこで本研究では小麦品種「きぬあかり」における茎立期の生育指標値とGreenseekerで測定したNDVI値との関連性を明らかにし、生育調査法の簡易化を検証した。

材料及び方法

1 試験区の設定及び耕種概要

(1) 生育指標値とNDVI値の相関の確認

小麦「きぬあかり」を供試し、農総試作物研究部水田利用研究室内のほ場(以下、場内)にて実施した。生育に差異を設けるために窒素施肥量を基肥で0, 8, 16 kg/10 a、追肥Iで0, 4, 6 kg/10 aとそれぞれ3段階とし、9試験区を3反復で設定し、2018年から2020年産で計112点の調査を行った。なお、窒素施肥は硫酸を使用し、全ての年で土壌改良材として「麦維新(愛知県経済農業協同組合連合会)」を10月に100 kg/10

a施用した。播種時期は年次により異なり11月7日から12月20日、条間は20 cmまたは30 cmであり表1のとおりである。

生産現場での適応性を検討するために2018年産から2020年産に調査ほ(以下、場外)を設置した。調査点と栽培概要等については表2に示した。なお、基肥及び追肥Iの窒素施肥量は農家慣行とした。

(2) NDVI値を基にした施肥の実証

NDVI値による診断結果を基に生育状況を不良、不足、適正、過剰の4つに区分し、2020年産の場内及び場外で生育に応じた追肥IIの施肥量を実証した。得られたNDVI値及び窒素施肥量については表3と4に示した。場外は分施肥系の観点から9地点を選定し実施した。なお、追肥IIは全て硫酸を使用した。

2 調査方法

(1) 生育及び収量調査

生育調査は、茎立期では草丈、茎数、葉色、NDVI値を測定した。葉色は葉緑素計(SPAD-502、コニカミノルタジャパン株式会社、東京)を用いて展開第2葉の中央部で測定した。NDVI値はGreenseekerを用い、植物体から約1 mの高さを維持したまま試験区内を条に沿って移動し、5秒程度で測定した。測定は場内では2018年産が3月7日と3月23日、2019年産が3月12日、2020年産が3月15日に実施した。成熟期では稈長、穂長、穂数、倒伏程度を調査した。

収量調査は精麦重で、篩目2.4 mmで調整後に測定した。なお、水分は12.5%で換算した。

(2) 品質調査

表1 場内調査ほの栽培概要

年産	播種日	条間	窒素施肥量 (基肥-追肥I)	調査 点数
	月/日	cm	kg/10 a	点
2018	11/7, 22	20, 30		36
2019	11/21	20, 30	0, 8, 16 - 0, 4, 6	51
2020	12/12	20		25

表2 現地調査における市名、栽培概要及び調査点数

年産	市名 (調査ほ点数)	播種日	条間	計
		月/日	cm	点
2018	稲沢市(2), あま市(2), 安城市(6), 刈谷市(2), 岡崎市(4), 西尾市(4), 額田郡(3), 豊田市(22), 豊橋市(3), 豊川市(2)	11/4- 12/9	16- 30	50
	稲沢市(2), あま市(6), 安城市(14), 岡崎市(4), 西尾市(8), 額田郡(2), 豊田市(4), 豊橋市(2)	10/25- 12/1	16- 24	42
2020	安城市(30), 岡崎市(4), 西尾市(16), 豊田市(10)	11/2- 12/11	16- 23	60

表3 茎立期のNDVI値と窒素施肥量(場内)

番号	窒素施肥量		NDVI 値	診断	追肥II
	基肥	追肥 I			
	kg/10 a	kg/10 a			kg/10 a
①		0	0.26, 0.33, 0.31	不足	8
②	0	4	0.44, 0.60, 0.45	不足- 不良	6-8
③		6	0.46, 0.61, 0.51	不足- 不良	6-8
④		0	0.66, 0.65, 0.67	適正	4
⑤	8	4	0.74, 0.74, 0.72	過剰	2
⑥		6	0.79, 0.72, 0.77	過剰	2
⑦		0	0.81, 0.79, 0.79	過剰	2
⑧	16	4	0.84, 0.81, 0.82	過剰	2
⑨		6	0.83, 0.84, 0.84	過剰	2

タンパク質含有率は、精麦粒を小型ミルで粉碎し、乾式燃焼法により測定した後、窒素濃度にタンパク質換算係数5.83を乗じて求め、水分含量は13.5%で換算した。乾式燃焼法には元素分析装置 JM1000CN (ジェイ・サイエンス・ラボ、京都) を用いた。

試験結果

1 生育指標値とNDVI値の相関の確認

3年間の生育指標値とNDVI値とのエクセルを用いて解析した結果を図1に示した。NDVI値と生育指標値には正の相関が見られた($r=0.894$)。また、指数近似による式を作成し、得られた式 $y = 81644 e^{4.07x}$ から生育状況を不良、不足、適正、過剰に区分する境界の生育指標値60万、100万、140万に対応するNDVI値はそれぞれ0.49、0.62、0.70であった(図1)。

次に、生産現地ほ場の152地点について測定したNDVI値を得られた式に当てはめて推測値として求め、生育状況を4つに区分した。そして実測値との一致率を求めた。なお、その結果、現地ほ場における実証結果は表5のとおりとなった。実測値とセンサーによる推測値は77.0%が一致した。また、条間による影響を検討とするため、20 cmを境に区分した結果を表6に示した。条間20 cm以上は80.7%が一致したが、20 cm未満は72.7%と下がる傾向となった。

表4 茎立期のNDVI値と窒素施肥量(場外)

ほ場名	施肥 体系	条間	NDVI 値	診断	追肥II
安城市①	分施	22	0.61	不足	6
安城市②	分施	散播	0.69	適正	4
安城市③	分施	17	0.81	過剰	2
安城市④	分施	17	0.83	過剰	2
西尾市①	分施	20	0.66	適正	4
西尾市②	分施	20	0.60	不足	2
岡崎市①	分施	20	0.77	過剰	2
豊田市①	分施	20	0.67	適正	4

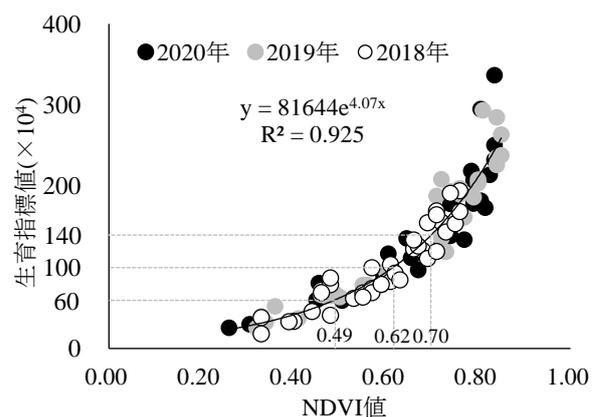


図1 場内の生育指標値とNDVI値

2 NDVI値を基にした施肥の実証

場内におけるNDVI値を基に窒素施肥を行った結果を表7に示した。施肥体系①と④以外は全て目標の600 kg/10 a(坪刈り収量。収量の目標値を0.8で除した値)を上回った。一方、タンパク質含有率は⑨が10.4%と過剰であり、これ以外は目標値である9.0~9.5%内、または近い値になった。

場外の結果を表8に示す。収量はGreenseekerの診断による8ほ場のうち、収量は5ほ場、タンパク質含有率は2ほ場が目標に達する又は近づいた。安城③は収量が目標よりも大幅に増加したものの、タンパク質含有率が低下した。また、岡崎市①は倒伏程度が大きく、収量は低くタンパク質含有率も目標の9.5%を大幅に超えた。西尾市①と②は早期に湿害による葉の黄化が確認された。

考察

水稻作¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾や大豆作¹³⁾でGreenseekerを用いた生育診断の簡易化について多くの報告がされている。今回の試験結果から小麦品種「きぬあかり」でもGreenseekerによる茎

表5 現地ほ場におけるNDVI値による診断結果(全体)

区分	生育指標値	調査ほ場数	一致率	診断から推測される追肥II	
				地点	kg/10 a
不良	～60 万	6	77.0		6.0 以上
不足	60 万～100 万	14			6.0
適正	100 万～140 万	30			4.0
過剰	140 万～	67			2.0

2018 年産～2020 年産

表7 NDVI値を基にした窒素施肥による収量及びタンパク質含量(場内)

番号	稈長	穂長	穂数	倒伏程度	精麦重 ¹⁾	タンパク質含有率 ²⁾
①	62	8.6	563	0.0	550	9.1
②	71	8.4	595	0.0	667	9.3
③	73	8.5	603	0.0	702	9.8
④	75	8.8	472	0.0	576	9.0
⑤	80	8.9	503	0.0	623	8.9
⑥	82	8.9	558	0.0	685	9.4
⑦	82	9.0	575	0.0	727	9.3
⑧	84	9.6	605	0.0	741	9.8
⑨	85	9.7	722	0.0	784	10.4

1) 精麦重は篩目 2.4 mm で調整後測定した。水分 12.5% 換算値で示す。

2) タンパク質含有率は水分 13.5% 換算値で示す。

注) は、収量では 600 kg/10 a(全刈/0.8)以上、タンパク質含有率では 9.0～9.5% 達成 は、タンパク質含有率 8.6～8.9%、9.6～9.9% 範囲

立期生育診断可能であると判断した。場内調査から生育指標値とNDVI値には正の相関が見られ、指数近似による決定係数が高い値になった。その得られた式から生育指標値を推定し、0.49、0.62、0.70で区分した場合、現地調査の一致率は77.0%と高い値になった。一方、条間が20 cm未満のほ場では一致が低くなる傾向を示した。佐々木ら(2014)によるとNDVI値は葉色と植被率とに強い相関があると報告している⁹⁾。このため、条間が狭い場合は、葉が重なることにより植被率が高くなり、NDVI値に影響したと考えられた。そのた

表6 現地ほ場におけるNDVI値による診断結果(20 cm境)

区分	生育指標値	20cm 以上		20cm 未満		散播	
		一致数	一致率	一致数	一致率	一致数	一致率
不良	～60 万	1		5		0	
不足	60 万～100 万	9	80.7	5	72.3	0	75.0
適正	100 万～140 万	19		9		2	
過剰	140 万～	38		28		1	

2018 年産～2020 年産

表8 NDVI値を基にした窒素施肥による収量及びタンパク質含量(場外)

ほ場名	番号	稈長	穂長	穂数	倒伏程度	精麦重 ¹⁾	タンパク質含有率 ²⁾
安城	①	87	10.1	515	0.0	626	8.5
安城	②	84	10.5	566	0.0	659	9.4
安城	③	94	9.5	704	0.5	729	7.5
安城	④	100	10.2	753	2.3	710	8.8
西尾	①	79	9.9	539	0.8	553	7.0
西尾	②	79	10.1	513	0.3	552	7.6
岡崎	①	92	9.8	726	3.0	517	10.3
豊田	①	91	10.3	519	0.0	831	9.5

1) 篩目 2.4 mm で調整後測定。水分 12.5% で換算。

2) 水分 13.5% で換算。

注) は、収量では 600 kg/10 a(全刈/0.8)以上、タンパク質含有率では 9.0～9.5% 達成 は、タンパク質含有率 8.6～8.9%、9.6～9.9% 範囲

め、より正確に診断する場合は一致率が80.7%と高い条間が20 cm以上の方が望ましいと考えられた。

また、生育指標値による診断と比べると測定時間はわずか数秒で完了し、即座に現地で「きぬあかり」の生育状況を把握できた。そして、生育指標値の測定に必要な葉色計よりもGreenseekerの価格の方が安く、生産コスト低減にも有利と考えられた。

診断による施肥した結果、場内及び場外で、収量は目標を達成するか、もしくは近い値になった。また、例え西尾①や②のように生育途中に葉の黄化が見られた湿害等の障害があったとしても、目標に近い収量が得られることが確認された。ただし、タンパク質含有率では、目標値を外れる地点が

確認された。これは現状の生育指標値による診断では「過剰」は140万以上とし、上限が設定されておらず⁹⁾、場内⁹⁾のNDVI値は0.83以上、生育指標値は200万以上となり、減肥したにもかかわらず、タンパク質含有率が超えた。場内では過剰施肥区を設けたが、茨城県では農家慣行の「さとのそら」を対象に生育診断法を作成しており、過剰生育場合は無施肥と判断している。現状では「過剰」でも2 kg/10 aの施肥を行うこととしており、今回の結果から「きぬあかり」でも無施肥と判断する生育指標値の範囲について検討が必要と考えられた¹⁴⁾。

また、基肥から茎立期の施肥量の増加は穂数が増加して、収量の増加が見込める。しかし、収量とタンパク質含有率は負の相関があり、高い収量が得られた場合、タンパク質含有率が下がる事例が報告されている¹⁵⁾。現地実証でも安城市³⁾は多収だがタンパク質含有率が目標を下回った。岡崎市¹⁾は増肥と堆肥施用により穂数過多による倒伏が5月の早期に見られ、収量が目標を下回り、その分タンパク質含有率が目標を超える値になり、堆肥施用の場合は、追肥量を減らす検討が必要である。このことから、生育指標値による「過剰」とされる場合は、茎立期に至るまでの肥培管理に問題があり、基肥と追肥Iの施肥量を施肥基準に基づき適正にする必要がある。

以上のことから、携帯型センサーを用いて診断を行えば、生育指標値が変わって簡易化することが可能であり、極端な施肥設定で無い限り、NDVI値に基づいた窒素施肥量により目標の収量及びタンパク質含有率に達成又は近づけることが可能であると考えられた。

謝辞:本研究では、現地試験の実施にあたり各農業改良普及課及び担当農家に多大なるご協力いただいた。ここに記して、感謝の意を表する。

引用文献

1. 愛知県. 農作物の施肥基準. 愛知県農業水産局農政部農業経営課.
2. 林元樹. きぬあかり 製めん適性が高く10a当たり600kg. 渡邊好昭, 藤田雅也, 柳沢貴司編著. 麦の高品質多収技術. 農山漁村文化協会. 東京. 196-202 (2013)
3. 伴佳典, 吉田朋史, 船生岳人, 坂紀邦, 加藤恭宏, 加藤満, 野々山利博. 小麦品種「きぬあかり」の生育状況に応じた追肥窒素量診断の開発. 日本作物学会講演要旨. 245, 33(2018)
4. 愛知県農業総合試験場. 小麦新品種「きぬあかり」の生育に応じた施肥法. 農業の新技术. No.112(2017)
5. 農林水産省. 作物統計調査. 統計表(平成30年産). 麦類. 小麦. <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003419954> (2021.6.1 参照)
6. 農林水産省. 作物統計調査. 統計表(令和元年産). 麦類. 小麦. <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003418948> (2021.6.1 参照)
7. 農林水産省. 作物統計調査. 統計表(令和2年産). 麦類. 小麦. <https://www.estat.go.jp/statsearch/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500215&tstat=000001013427&cycle=7&year=2020&month=0&tclass1=000001032288&tclass2=0000010327>(2021.6.1 参照)
8. 国土地理院. 植生指標データについて <http://www.gsi.go.jp/kankyochiri/ndvi.html>(2021.6.1参照)
9. 佐々木大, 村上則幸, 林怜司. 携帯型NDVIセンサーの特性と利用の検討. 農作業研究. 49 155-161(2014)
10. 浪川茉莉, 西田瑞彦, 高橋智紀, 金田吉弘. 携帯型NDVI測定機によるNDVI値と水稻窒素吸収量の関係. 日本土壤肥料学雑誌. 87(6), 450-454 (2016)
11. 金田吉弘, 西田瑞彦, 高階史章, 佐藤孝. ハンドヘルド作物センサーによるNDVIを用いた新たな多収米生育診断基準と多収の実証. 日本土壤肥料学誌. 91(6), 417-425(2020)
12. 後藤元, 井上吉雄, 中場勝. 携帯型NDVI測定機を用いた水稻品種「つや姫」の穂肥診断. 日作東北支部報. 61, 31-32(2018)
13. 長南友也, 村上則幸, 林怜史, 中村卓司. 携帯型NDVIセンサーを用いたダイズ収量の推定. 日本作物学会講演会要旨集. 243
14. 茨城県農業総合センター農業研究所. 小麦「さとのそら」の湿害を中心とした定収要因診断対策マニュアル. 15. (2020) https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/nosose/cont/img/ibaraki_komugi_shitugai_manyuaru2.pdf (2021.6.1参照)
15. 島崎由美, 渡邊好明昭. コムギの子実タンパク質含有率－栽培による制御の可能性－. 日作紀. 79, 407-413(2010)