

被覆尿素有溶出タイプや配合割合が近年の温暖化気象下におけるヒノヒカリの品質、収量に及ぼす影響

荒木雅登*・荒巻幸一郎¹⁾・黒柳直彦

近年の温暖化気象の下での全量基肥栽培における被覆尿素有溶出タイプと配合がヒノヒカリの品質、収量に及ぼす影響の年次による違いについて検討した。その結果、被覆尿素有溶出タイプは高温年の2010年では従来用いられていたシグモイド型100日タイプと溶出期間の長いシグモイド型120日タイプを併用すると収量、整粒割合が増加する傾向にあった。また、年次を問わず茎数および穂数は緩効率が高くなるほど少なくなる傾向にあった。m²当たり籾数および収量に対する影響は年次により傾向が異なったが、緩効率50%と60%の差は2~4ポイントで有意な差は認められなかった。以上の結果、高温年に対応できる全量基肥栽培用肥料としては緩効率50~60%で従来のシグモイド型100日タイプにシグモイド型120日タイプを混合して使用することが有効であることが明らかとなった。

[キーワード: 被覆尿素有、ヒノヒカリ、全量基肥施用、整粒割合]

Effect of Type and Mixing Ratio of Coated Urea on Quality and Yield of Rice Cultivar Hinohikari under Warmer Climatic Conditions of Recent Years. ARAKI Masato, Koichiro ARAMAKI and Naohiko KUROYANAGI (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 32: 1-5 (2013)

We examined the annual variation in grain quality and yield of a rice cultivar Hinohikari on a single basal application by the type and mixing ratio of coated urea under the warmer climatic conditions of recent years. In 2010, a year in which temperatures were high during the maturing period, when the same overall mixing ratio of slow-release nitrogen to total nitrogen was applied, the yield and the whole grain ratio from a combination of sigmoid 120-day and sigmoid 100-day coated urea at a ratio of three to seven tended to be a little better than when only sigmoid 100-day fertilization was administered. It's known that as the mixing ratio of slow-release nitrogen in total nitrogen applied is increased, the number of tillers at early growth stage, and number of panicles at harvest stage decreases. No effect on the number of spikelets or yield of the mixing ratio of slow-release nitrogen to total nitrogen applied could be found. The difference in yield between 50% and 60% mixing ratios was only 2 to 4 points. The results showed that a combination of sigmoid 120-day and sigmoid 100-day coated urea, and a mixing ratio from 50% to 60% were suitable for Hinohikari on a single basal application in a year of high temperature.

[Key words: Coated urea, Hinohikari, Single basal application of fertilizer, Whole grain ratio]

緒言

福岡県の水稲作においては、省力化のため、被覆尿素有等の肥効調節型肥料の導入が進んでおり、作付面積の約60%（肥料流通量からの推計値）で全量基肥栽培が行われている。

近年、西日本の主力品種「ヒノヒカリ」の一等米比率が低迷しており、本県内でもその傾向が顕著である（若松ら 2007）。品質低下の主な要因は背白粒や乳白粒等、いわゆる白未熟粒の発生であり、白未熟粒は登熟初期の温度が27℃以上で多発する（小葉田ら 2004、高橋 2006、森田 2008）。白未熟粒の発生は登熟期の温度条件以外に出穂期以降の窒素栄養条件も重要であると指摘されている（森田 2008）。従来、全量基肥栽培においてはシグモイド型100日タイプの被覆尿素有と速効性窒素を窒素成分で50%ずつ（緩効率50%）配合したものがヒノヒカリに対応する主要銘柄として用いられてきた（富満 1994、山本 1994）。この配合は、特に食味に影響する玄米タンパク含量増加回避を加味して決定されており、出穂期以降の窒素残効が小さいものとなっている（井上ら 1994）。しかし、高温年では全体的にイネの生育が早まり、窒素栄養要求時期と用いられてきた肥効調節型肥料の窒素肥効発現パターンが適合しなくなっ

ていることが全量基肥栽培における品質低下の原因の一つと考えられている。また、肥効調節型肥料の窒素肥効発現は入水しないと開始しないとの先入観があるため、生産者の作業の都合上、田植えの1週間ほど前に通常の化成肥料よりも早く肥料散布が行われている実態がかなりある（松森ら 2010）。このことも、登熟期の窒素不足を誘発している可能性がある。このような、水稲の生育と肥効発現のズレは、籾数過剰、登熟不良による収量の減少を引き起こすことも懸念される。そのため、生部（2007）が報告しているように前半の窒素肥効を従来よりもやや抑えて、後半を重視した配合にすることが登熟期に高温に遭遇するリスクが高くなっている現在の実態に適合するものと想定できる。

本研究では、ヒノヒカリに対して高温年における生育後半の窒素肥効を確保する目的で、従来のシグモイド型100日タイプに加えて、120日タイプを併用する方法や速効性窒素を減らして緩効性窒素の割合を増やす方法を検討し、品質、収量および玄米タンパク含量への影響の年次による違いを明らかにした。

*連絡責任者（土壌・環境部：mst-araki@farc.pref.fukuoka.jp）

受付2012年8月1日；受理2012年11月13日

1) 現 筑後農林事務所

第1表 試験区の構成と施肥内容

試験区名 (緩効率 ²⁾ と種類 ^{3,4)}	年次 ¹⁾			窒素施肥量(kg/10a)				
	2008年	2009年	2010年	基肥	穂肥 I	穂肥 II	合計	
	○	○	○					
全量基肥	70% SS100	○	-	-	8.5	0.0	0.0	8.5
	60% SS100	○	○	-	8.5	0.0	0.0	8.5
	50% SS100	○	○	○	8.5	0.0	0.0	8.5
	40% SS100	○	-	-	8.5	0.0	0.0	8.5
	70% SS100 / S120	-	○	-	8.5	0.0	0.0	8.5
	60% SS100 / S120	-	○	○	8.5	0.0	0.0	8.5
	50% SS100 / S120	○	○	○	8.5	0.0	0.0	8.5

- 1) 年次の○は試験区を設置したことを示している。
- 2) 緩効率は施肥窒素中の被覆尿素の窒素成分の割合で、速効性窒素としては硫酸 (N-P₂O₅-K₂O:21- 0- 0) を使用。
- 3) SS 100 は LP コート SS 100 (41- 0- 0) , S120 は LP コート S120 (41- 0- 0) を示す。
- 4) SS100/S120 は各資材を 7: 3 で混合して使用。

第2表 耕種概要と調査日

年次	基肥	移植	出穂期	成熟期	調査日				
					移植	移植	幼穂	穂揃期	成熟期
					25日後	35日後	形成期		
2008年	6/18	6/20	8/29	10/9	7/15	7/23	8/5	9/2	10/9
2009年	6/16	6/18	8/28	10/7	7/13	7/24	8/7	8/31	10/7
2010年	6/22	6/24	8/28	10/8	7/20	7/30	8/9	9/6	10/8

材料および方法

試験は 2008 年から 2010 年の 3 年間、福岡県農業総合試験場内の灰色低地土水田圃場 (砂壤土, 全炭素 0.88% 全窒素 0.08%) において実施した。品種はヒノヒカリで、6 月中下旬に稚苗を 1 株 4 本、栽植密度 m² 当たり 20.8 株となるように手植え移植した。基肥の施肥、植え代かきは移植の 2 日前に行った。試験区の構成を第 1 表に示した。シグモイド型 100 日タイプ (以後、SS 100 と略す) とシグモイド型 120 日タイプ (以後、S120 と略す) の配合割合は予備調査の結果から窒素成分量で 7: 3 に決定した (データ略)。これにより、玄米タンパク含量の過度の増加を抑制することが可能である。各区のリン酸、カリについては、県基準量に準じ、粒状過リン酸石灰および塩化カリを施用した。各年次の耕種概要と調査日等を第 2 表に示した。

7 月中下旬に草丈、茎数、葉色を測定した。葉色は、株中の最長茎の展開第 2 葉の先端より 3 分の 1 から 2 分の 1 の部分を SPAD-502 (ミノルタ社製) を用いて測定した。また、幼穂形成期 (幼穂長 2~ 3mm) , 穂揃期、成熟期に平均株 6~10 株を採取し、穂揃期には茎葉と穂、成熟期にはわらと籾に分け、通風乾燥後、乾物重を測定し、その後、粉碎したものを分析試料とした。全窒素の分析は、ケルダール分解・水蒸気蒸留法により行った。

収量、品質調査には 1.85mm の縦目篩を通した玄米を供試した。検査等級は、1 等上 (1) ~ 3 等下 (9) , 規格外 (10) の 10 段階で評価した。整粒割合および白未熟粒割合の調査は、宮崎ら (2011) の方法に準じて、サタケ社製の穀粒判別器 (RGQI20A) によって実施した。乳白粒、基白粒および腹白粒割合の合計を白未熟粒割合と

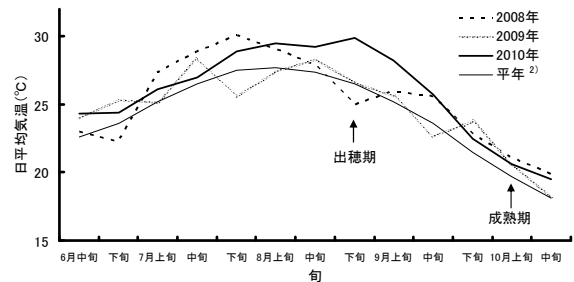
した。玄米タンパク質含量は窒素含量にタンパク質換算係数 5.95 を乗じ、水分 15% に換算して算出した。

被覆尿素の窒素溶出は、各種被覆尿素 1 g をポリエチレン製お茶パックに詰め、試験田の地表面下 5 cm のところに埋設し、経時的に取り出すことで調査した。埋設日は、2008 年は 6 月 20 日、2009 年は 6 月 18 日、2010 年は 6 月 25 日とした。取り出し後、ケルダール分解・水蒸気蒸留法にて残存窒素量を測定し、窒素溶出率を算出した。

結果

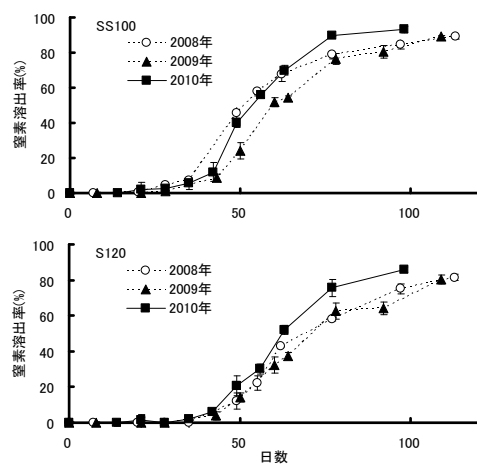
1 気象経過と被覆尿素の窒素溶出の年次変動

2008 年から 2010 年にかけての 3 ヶ年の水稲栽培期間中の旬別日平均気温の推移を第 1 図に示した。2008 年は九州北部の梅雨明けが過去 50 ヶ年で 3 番目の早さ (7 月 6 日頃) で、生育前半特に 7 月の高温が顕著であったが、8 月以降は平年並みに推移した。2009 年は一転して、梅雨明けが 8 月 4 日頃と遅れ、梅雨明け日が発表されなかった 1993 年を除くと最も遅く、気温は水稲の生育期間を通じて平年並みであった。2010 年は梅雨明けが 7 月 18 日頃でそれ以降、記録的な猛暑の夏であった。特に 8 月の高温が顕著であった。



第1図 水稲栽培期間の旬別日平均気温¹⁾の推移

- 1) アメダス (太宰府) より引用。
- 2) 平年は 1981~2010 年の 30 ヶ年平均値。



第2図 埋設試験による被覆尿素の窒素溶出率の比較

- 1) バーは標準偏差。
- 2) SS 100 は LP コート SS 100, S120 は LP コート S120。

被覆尿素的窒素溶出率の推移を第 2 図に示した。石橋ら (1992) が報告しているように、被覆尿素的窒素溶出は温度に依存しているため、窒素溶出パターンは SS 100 と S120 とともに各年次の気象経過、特に気温を反映していた。すなわち、猛暑年であった 2010 年は溶出率 80% に到達した日数が最も短く、以下、2008 年、2009 年の順に長くなった。また、溶出開始時期では SS 100 と S120 で年次間差に特徴が認められた。すなわち、溶出率 20% に達した日数を第 2 図で比較すると S120 では 49~53 日とほとんど差が認められないことに対して、SS 100 では 2008 年 (40 日)、2010 年 (44 日)、2009 年 (48 日) の順で長く、梅雨明け日の早晚のために生じる生育初期の気温の経過の差を反映した年次間差が認められた。

2 生育経過および収量

移植 25 日後 (7 月中旬) および 35 日後 (7 月下旬) の茎数について SS 100 のみの場合および S120 を併用した場合、それぞれで比較すると、区間差に必ずしも有意性は認められないものの緩効率が高いほど茎数は少なく、この傾向は 3 ヶ年とも成熟期の穂数にまで反映されていた (第 3 表、第 4 表)。収量および m^2 当たり籾数は、SS 100 のみを使用する場合に比べて S120 を併用すると平年並みの気象で推移した 2009 年はわずかに減少傾向であるものの、高温年 (2010 年) では逆に増加傾向にあり、SS 100 と S120 を併用する有効性が認められた。また、緩効率を比較すると、従来の緩効率である 50% に対して 70% では年次による収量と m^2 当たり籾数の変動幅が大きかったが、60% では 50% とほとんど差がなかった。この傾向は S120 を併用した場合も同様であった (第 5 表)。

第 3 表 7 月中下旬における水稻の生育

試験区名 (緩効率と種類)	7月中旬						7月下旬					
	2008年(7/15)		2009年(7/13)		2010年(7/20)		2008年(7/23)		2009年(7/24)		2010年(7/30)	
	草丈 cm	茎数 本/ m^2	草丈 cm	茎数 本/ m^2	草丈 cm	茎数 本/ m^2	葉色	草丈 cm	茎数 本/ m^2	草丈 cm	茎数 本/ m^2	葉色
全量基肥 70% SS100	30	357	-	-	-	-	-	49	405	-	-	-
60% SS100	29	367	37	324	-	-	-	49	405	57	448	-
50% SS100	31	406	37	336	41	271	38.3	52	459	59	443	50
40% SS100	30	418	-	-	-	-	-	50	454	-	-	-
70% SS100/ S120	-	-	37	337	-	-	-	-	57	438	-	-
60% SS100/ S120	-	-	37	331	41	256	38.0	-	59	422	50	497
50% SS100/ S120	31	398	38	366	42	309	38.9	50	419	60	489	52
分散分析 ¹⁾	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

1) *: $p < 0.05$ 。

2) 異文字間には有意差があることを示す (Tukey, $p < 0.05$) 。

第 4 表 成熟期における稈長、穂長および穂数

試験区名 (緩効率と種類)	精玄米重 ¹⁾ (kg/10a)			m^2 当たり籾数($\times 100$ 粒)			登熟歩合(%)			千粒重(g)		
	2008年	2009年	2010年	2008年	2009年	2010年	2008年	2009年	2010年	2008年	2009年	2010年
全量基肥 70% SS100	536 (103)	-	-	314	-	-	83	-	-	22.8	-	-
60% SS100	516 (100)	589 (100)	-	304	309	-	84	86	-	22.9	23.4	-
50% SS100	519 (100)	590 (100)	534 (100)	304	314	324	87	86	73	23.1	23.5	22.3
40% SS100	506 (98)	-	-	297	-	-	82	-	-	22.8	-	-
70% SS100/ S120	-	566 (96)	-	-	267	-	89	-	-	23.8	-	-
60% SS100/ S120	-	569 (96)	533 (100)	-	293	329	88	78	-	23.7	22.3	-
50% SS100/ S120	514 (99)	575 (98)	554 (104)	297	293	338	84	87	77	23.0	23.7	22.3
分散分析	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

1) *: $p < 0.05$ 。

2) 異文字間には有意差があることを示す (Tukey, $p < 0.05$) 。

第 5 表 収量および収量構成要素

試験区名 (緩効率と種類)	精玄米重 ¹⁾ (kg/10a)			m^2 当たり籾数($\times 100$ 粒)			登熟歩合(%)			千粒重(g)		
	2008年	2009年	2010年	2008年	2009年	2010年	2008年	2009年	2010年	2008年	2009年	2010年
全量基肥 70% SS100	536 (103)	-	-	314	-	-	83	-	-	22.8	-	-
60% SS100	516 (100)	589 (100)	-	304	309	-	84	86	-	22.9	23.4	-
50% SS100	519 (100)	590 (100)	534 (100)	304	314	324	87	86	73	23.1	23.5	22.3
40% SS100	506 (98)	-	-	297	-	-	82	-	-	22.8	-	-
70% SS100/ S120	-	566 (96)	-	-	267	-	89	-	-	23.8	-	-
60% SS100/ S120	-	569 (96)	533 (100)	-	293	329	88	78	-	23.7	22.3	-
50% SS100/ S120	514 (99)	575 (98)	554 (104)	297	293	338	84	87	77	23.0	23.7	22.3
分散分析	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

1) ()内は各年次の全量基肥 50%SS 100 区の精玄米重を 100 とした指数。

第6表 玄米品質とタンパク含量

試験区名 (緩効率と種類)	玄米タンパク含量 (g/100g)			検査等級			整粒割合(%)			白未熟粒割合(%)		
	2008年	2009年	2010年	2008年	2009年	2010年	2008年	2009年	2010年	2008年	2009年	2010年
全量基肥 70% SS100	6.5	-	-	4.0	-	-	60.3	-	-	2.1	-	-
60% SS100	6.3	6.4	-	4.0	3.5	-	63.3	76.3	-	1.7	0.6	-
50% SS100	6.1	6.1	6.2	3.5	4.0	4.5	65.4	76.6	73.2	2.4	0.4	6.6
40% SS100	6.2	-	-	4.0	-	-	67.3	-	-	1.4	-	-
70% SS100/ S120	-	6.6	-	-	3.5	-	-	78.2	-	-	0.4	-
60% SS100/ S120	-	6.3	6.2	-	4.0	4.5	-	80.5	75.1	-	0.8	5.4
50% SS100/ S120	6.1	6.3	6.3	4.0	3.0	4.0	64.4	78.5	75.6	2.4	0.3	6.2
分散分析	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

第7表 水稻窒素吸収量の推移

試験区名 (緩効率と種類)	窒素吸収量 (kg/10a)								
	2008年			2009年			2010年		
	幼穂 形成期	穂揃期	成熟期	幼穂 形成期	穂揃期	成熟期	幼穂 形成期	穂揃期	成熟期
全量基肥 70% SS100	7.0	10.6	12.3	-	-	-	-	-	-
60% SS100	6.5	9.4	11.9	5.9	9.5	11.8	-	-	-
50% SS100	7.4	9.1	11.4	6.0	9.5	11.9	5.8	10.7	11.1
40% SS100	7.3	9.9	11.0	-	-	-	-	-	-
70% SS100/ S120	-	-	-	5.1	9.4	10.4	-	-	-
60% SS100/ S120	-	-	-	5.9	9.3	11.5	6.0	9.9	11.3
50% SS100/ S120	7.1	9.7	10.9	5.9	8.6	11.1	6.4	10.4	12.0
分散分析	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

3 玄米タンパク含量と品質

玄米タンパク含量は、2008年および2009年には、緩効率が高くなるほど上昇傾向にあったが、高温年（2010年）にはこの傾向は認められなかった。さらに同じ緩効率で比較するとSS100のみを使用する場合に対してS120を併用する場合は玄米タンパク含量が増加する傾向が認められたが、有意な差は認められず増加幅はわずかであった。品質では、検査等級に差はなく、穀粒白未熟粒割合も全体的に低かったことから配合割合の影響は明らかでなかった。一方、整粒割合は2008年では緩効率が高いほど低くなる傾向にあったが、その他の年次では一定の傾向は認められなかった。また、2009年、2010年については同じ緩効率で比較するとSS100のみを使用する場合と比べてS120併用により、整粒割合を高める傾向を示した（第6表）。

4 窒素吸収

幼穂形成期までの窒素吸収量は、緩効率が高くなると減少する傾向にあった。また同じ緩効率ではSS100のみを使用してもS120を併用しても一定の傾向は認めることはできなかった。一方、穂揃期以降は年次により傾向が異なり、比較的気温の低かった2009年はS120を併用した方が窒素吸収量はわずかに少なく、高温年（2010年）では逆に多かった（第7表）。

考 察

高温年に対応できるヒノヒカリの全量基肥栽培用肥料の配合の改良を目的として、緩効率と溶出タイプが品質、収量に及ぼす影響について調査した。3ヶ年を通じて、

検討した範囲での配合内容の違いによる影響は小さく、収量や品質に有意性を示す顕著な差は認められなかった。しかし、SS100のみを使用する場合と比べて、高温年（2010年）にはわずかに収量、整粒割合が増加する傾向にあったことからS120を併用することが高温対策として有効であると考えられた。玄米タンパク含量の増加を回避するためにあらかじめSS100とS120の混合比率を7:3に設定したため、S120併用による増加幅は食味低下が懸念される水準ではなかった。一方で、3ヶ年間の試験のうち、2009年は気温が平年並みで推移した（第1図）が、低温年に相当する年はなかった。平年よりも気温が下回る年では、S120の窒素溶出の遅延による減収や玄米タンパク含量増加等が危惧される。埋設法による溶出試験の結果でS120とSS100を比較すると、SS100の方が溶出開始時期の年次による変動が大きく、相対的にS120の方が初期の溶出は年次による変動幅が小さく安定していたが、溶出タイプによる気象変動に対する影響の違いについては引き続き検討を要する。緩効率を高めることについては、予想されたように初期生育（茎数）を抑え、高温下で危惧される生育後半の窒素不足を誘発する過繁茂回避に一定の効果が認められたが、収量、品質に対してはその効果が判然としなかった。以上の結果から、高温年に対応できる全量基肥栽培用肥料として、緩効率50~60%で従来のSS100にS120を混合して使用することが有効であることが明らかとなった。

引用文献

- 井上恵子・山本富三・末信真二 (1994) 水稻「ヒノヒカリ」に対する被覆尿素肥料の施用法. 福岡農総試研報 A-13 : 17-22.
- 石橋英二・金野隆光・大木英照 (1991) 反応速度論的方法によるコーティング窒素肥料の溶出評価. 土肥誌 63 : 664-668.
- 小葉田 亨・植向直哉・稲村達成・加賀田恒 (2004) 子実への同化産物供給不足による高温下の乳白米発生. 日作紀 73:315-322.
- 松森 信・開田和歌子 (2010) 水稻に対する全量基肥施肥から移植までの日数の農家実態ならびに窒素肥効および水稻生育量に及ぼす影響: 土肥学会講演要旨集 56 : 131.
- 宮崎真行・吉野 稔・内川 修・岩淵哲也・荒木雅登・石塚明子・小田原孝治 (2011) 水稻新品種「元気つくし」の移植時期および2回目の穂肥の有無が収量, 品質および食味におよぼす影響. 福岡農総試研報 30 : 18-24.
- 森田 敏 (2008) イネの高温登熟障害の克服に向けて. 日作紀 77:1-12.
- 生部和宏 (2007) 水稻「ヒノヒカリ」の千粒重向上に適した被覆尿素肥料の施用法: 土肥学会講演要旨集 53 : 298.
- 高橋 渉 (2006) 気候温暖化条件下におけるコシヒカリの白未熟粒発生軽減技術. 農及園 81:1012-1018.
- 田中浩平・久保田 孝・川村富輝 (2002) 水稻品種「ヒノヒカリ」の食味向上のための穂肥施用法. 九農研 64:4.
- 富満龍徳 (1994) LP コート肥料を用いた水稻品種ヒノヒカリ全量基肥施肥法. 農業と科学 435:7-10.
- 山本富三 (1994) LP コート (Sタイプ) による水稻ヒノヒカリの1回全量 (ワンショット) 施肥. 農業と科学 441: 1-5.
- 若松謙一・佐々木 修・上菌一郎・田中明男 (2007) 暖地水稻の登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響. 日作紀 76:71-78.