

熊本県における高冷地早植え水稻‘ヒノヒカリ’は6月の平均気温が低いと籾数の増加により多収となる

Higher Number of Rough Rice Grains Led to an Increase in Yield in Rice Cultivar ‘Hinohikari’ Production under Low Average Temperatures in June in the Highlands of Kumamoto Prefecture

林田裕樹・橋本 充*
(高原農業研究所)

Hiroki HAYASHIDA and Mitsuru HASHIMOTO
(Highland Agricultural Research Institute)

要 約

熊本県の水稲栽培においては、中生品種‘ヒノヒカリ’が最も多く作付されている。本県での‘ヒノヒカリ’の主産地は平坦地であるが、当品種は登熟期の高温により白未熟粒が発生し、品質低下が見られており、近年では気候が冷涼で品質が良好な上益城・阿蘇地域の高冷地（概ね標高 300m 以上）の重要性が増している。しかし、高冷地の水稲には栽培年による収量の差が大きいという問題がある。収量変動に気象が影響していることが多数報告されているが、その多くが平坦地における知見であり、高冷地において気象と収量との関係を検討した例は少ない。そこで本研究では、熊本県農業研究センター農産園芸研究所旧矢部試験地で蓄積されている 15 年間の水稲‘ヒノヒカリ’の作況試験結果を用いて、気象要因、収量および収量関連形質の関係を解析した。収量と収量関連形質との関係では、収量と有効茎歩合および m^2 当たり籾数との間に有意な正の相関が見られた。気象と収量および収量関連形質との関係では、6 月の平均気温と収量との間に高い負の相関が見られた。また、同じく 6 月の平均気温と有効茎歩合および m^2 当たり籾数との間にも高い負の相関が見られた。そこで、6 月の平均気温が 15 年間の平均値の $20.6^{\circ}C$ 未満であった低温年（5 年）と $20.6^{\circ}C$ 以上であった高温年（10 年）とに分けて生育を比較したところ、低温年では茎数の増加や草丈の伸長が高温年に比べて緩慢で、最高分げつ期以降の葉緑素計値が 2~5 高く推移した。また、低温年は高温年に比べて籾むら比が有意に高かった。これらのことから、6 月の気温が低いと生育初期の過繁茂が抑制されて有効茎歩合が高まり、また、葉色が濃く同化能力が高く維持された結果、 m^2 当たり籾数が増加し増収することが示唆された。

キーワード：水稲，ヒノヒカリ，高冷地，収量，気温

I 緒言

熊本県の水稲栽培においては、中生品種‘ヒノヒカリ’¹⁾が最も多く作付されており、2018年産での作付割合は50%となっている⁴⁾。本県での‘ヒノヒカリ’の主産地は平坦地であるが、当品種は登熟期の高温により白未熟粒が発生し品質低下が見られる⁶⁾。そのため、近年では気候が冷涼で品質が良好な上益城・阿蘇地域の高冷地（概ね標高300m以上）の重要性が増している。しかし、高冷地の水稲には栽培年による収量の差が大きいという問題があり、過去10年間の県全体の収量の変動幅が2.9（50.0~52.9）kg/aであるのに対し、上益城地域の高冷地では6.6（45.5~52.1）kg/aとなっている⁷⁾。

気象要因が暖地水稲の収量に影響していることが多数

報告されている^{1,9)}。しかし、その多くが平坦地における知見であり、高冷地において気象と収量との関係を検討した例は少ない。熊本県農業研究センター農産園芸研究所旧矢部試験地では、2002~2016年の15年間にわたって普通期早植え栽培‘ヒノヒカリ’の作況調査が実施され、生育や収量に関連するデータが蓄積されている。

そこで本研究では、高冷地における‘ヒノヒカリ’の収量変動の要因を明らかにし、気象条件に対応した栽培管理の参考とするために、作況調査のデータを用いて気象条件と収量および収量関連形質との関係を解析した。

II 材料および方法

作況調査は上益城郡山都町上寺の農産園芸研究所旧

*現 農林水産部生産経営局農産園芸課

矢部試験地（標高 460m）の水田（厚層腐植質多湿黒ボク土）において、当該地域の中生品種として主に作付されている偏穂重型の‘ヒノヒカリ’を用いて 2002～2016 年に実施した。試験は毎年同じほ場で実施し、ほ場の可給態窒素量は 38.3mg/100g 乾土（土壌採取：2018 年 4 月）で地力が高い条件であった。各年とも播種は 4 月 20 日前後に行い、播種量は乾籾で 100g/箱とした。5 月 20 日前後に葉齢 3.5 程度の苗（約 30 日育苗）を栽植密度 18.5 株/m²（30cm×18cm）で 1 株当たり 4 本手植えた。施肥量は窒素成分で基肥 0.2kg/a、穂肥 0.2kg/a で、試験規模は、1 区 96m²の 2 区制とした。稲作後の他の作付けは無かった。生育調査は、最高分げつ期、幼穂形成期、出穂期および成熟期を記録するとともに、1 区当たり 20 株を選び茎数、草丈、葉緑素計値を 6 月 1 日から 8 月 11 日まで 10 日毎（最高分げつ期前後は 5 日毎）に測定した。

葉緑素計値は葉緑素計 SPAD-502（コニカミノルタ社製）を用いて最上位展開第 2 葉の葉身中央部を測定した。

また、成熟期には生育調査と同じ株について穂数（有効穂数）を測定した。有効茎歩合は穂数を最高分げつ期の茎数で除して求めた。収量調査では 100 株を地際から刈取り、乾燥後に全重、粗籾重および精籾重を測定し、全重から粗籾重を減じてわら重を、精籾重をわら重で除して籾わら比をそれぞれ求めた。また、この 100 株から得られた玄米を篩目 1.8mm で選別し、精玄米重（以下、精玄米重を収量と表記する）および千粒重を調査した。なお、収量および千粒重は水分が 15%での数値に換算した。さらに、収量調査サンプルとは別の平均的な穂数の 5 株を用いて一穂籾数および登熟歩合（比重 1.06）を算出した。

第 1 表 6 月の平均気温に基づく低温年および高温年

年次	6 月の平均気温 (°C)	低温年 ^{a)}	高温年 ^{a)}
2002	20.8		○
2003	20.2	○	
2004	21.5		○
2005	21.7		○
2006	21.0		○
2007	20.8		○
2008	19.9	○	
2009	20.7		○
2010	20.7		○
2011	21.1		○
2012	20.0	○	
2013	21.0		○
2014	19.6	○	
2015	19.7	○	
2016	20.8		○
平均値	20.6		

^{a)} 15 年間の平均値である 20.6°C 未満の年を低温年、20.6°C 以上の年を高温年とした

データ解析は、以上 15 年間の作況調査により得られたデータを用いて実施し、まず、収量と収量関連形質間の相関係数および 6～9 月の平均気温、日照時間と収量関連形質間の相関係数を求めた。平均気温および日照時間は、熊本県農業気象システムのメッシュ推計値（地点：上益城郡矢部試験地）を用いた。後述のように、6 月の平均気温と収量、有効茎歩合および m² 当たり籾数との間に有意な負の相関が認められたことから、第 1 表のように 6 月の平均気温が 15 年間の平均である 20.6°C 未満の 5 年（低温年）と 20.6°C 以上の 10 年（高温年）に分けて、草丈、茎数、葉緑素計値の推移および収量、収量関連形質、最高分げつ期、幼穂形成期、出穂期、成熟期を比較した。なお、6 月 1 日～7 月 11 日の葉緑素計値については、2010 年以降は調査を行っていないため、2002～2009 年の 8 年間（高温年 6 年、低温年 2 年）のデータを使用した。

III 結果

1 収量と収量関連形質との関係

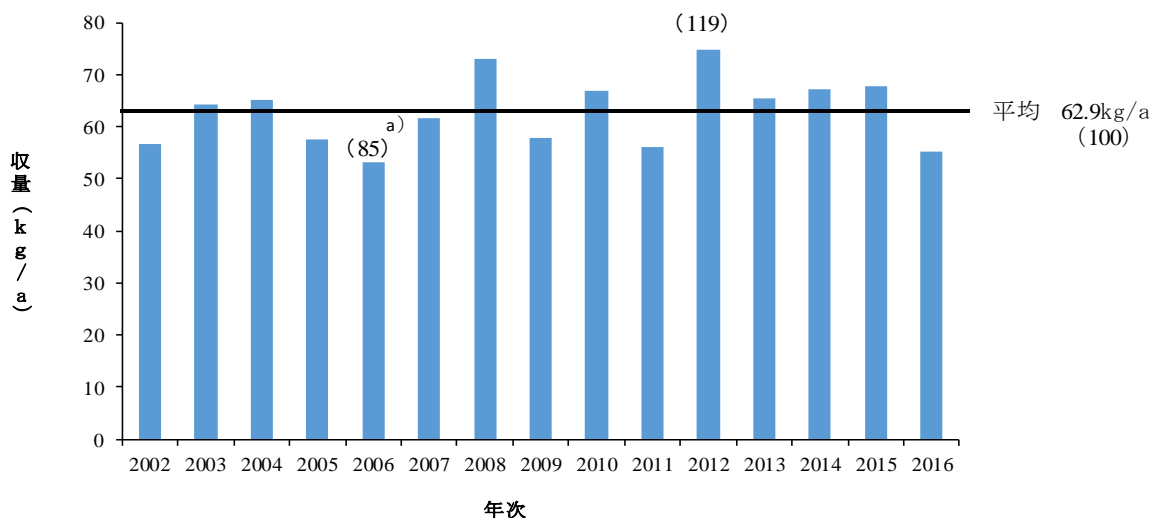
調査を実施した 15 年間に台風等の目立った気象災害は無かった。15 年間の収量の平均は 62.9kg/a で、最小は 2006 年の 53.2kg/a（平均の 85%）、最大は 2012 年の 74.7kg/a（平均の 119%）であった（第 1 図）。収量と収量関連形質との関係を解析した結果、収量と m² 当たり籾数および有効茎歩合との間に有意な正の相関が見られた（第 2 表）。穂数、一穂籾数、登熟歩合、千粒重との間に相関は認められなかった。

2 気象条件と生育、収量および収量関連形質との関係

6～9 月の各月の平均気温および日照時間と生育、収量および収量関連形質との関係を解析した結果、6 月の平均気温と収量、有効茎歩合および m² 当たり籾数との間に有意な負の相関が認められた（第 3 表）。7～9 月の平均気温と収量との間には有意な相関は認められなかった。また、日照時間との関係については、6 月の日照時間と有効茎歩合との間に有意な負の相関があったのみで、収量との間に相関は認められなかった。

3 6 月低温年および高温年における草丈、茎数および葉緑素計値の推移

6 月の平均気温の低温年の平均は 19.9°C、高温年の平均は 21.0°C で、1%水準で有意な差が認められた。草丈は、低温年が高温年より伸長が遅く、7 月 6 日の最高分げつ期頃および 7 月 11 日には有意差がみられたが、その後は高温年との差は見られなかった（第 2 図）。茎数は、生育初期から低温年が高温年より増加速度が遅く、6 月 21 日および 6 月 26 日には 10%水準ながら有意差が見られたが、幼穂形成期頃の 7 月 21 日からは高温年と同等となっ



第1図 調査期間における収量の推移

a) 棒上の数値は平均を100とした時の最小年および最大年の比率を示す

第2表 収量と収量関連形質間の相関係数

	データ数	穂数	一穂粒数	m ² 当たり 粒数	登熟歩合	千粒重	有効茎 歩合
収量 (精玄米重)	15	0.510 ns ^{a)}	0.483 ns	0.829 **	-0.394 ns	0.496 ns	0.574 *

a) *, **はそれぞれ5%水準, 1%水準で有意であること, nsは有意でないことを示す
(登熟歩合および有効茎歩合は逆正弦変換した値を用いて有意差検定した)

第3表 気象要因と収量, 収量関連形質間の相関係数

	データ 数	最高茎数	有効茎歩合	全重	わら重	精粒重	粒わら比	穂数	一穂粒数	m ² 当たり 粒数	登熟歩合	千粒重	精玄米重	
平均気温	6月	15	0.370 ns ^{a)}	-0.574 *	-0.049 ns	0.184 ns	-0.362 ns	-0.493 ns	-0.319 ns	-0.330 ns	-0.539 *	0.337 ns	-0.309 ns	-0.629 *
	7月	15	0.115 ns	-0.001 ns	-0.067 ns	-0.007 ns	-0.128 ns	-0.110 ns	0.188 ns	-0.305 ns	-0.097 ns	0.243 ns	0.333 ns	-0.072 ns
	8月	15	-0.282 ns	0.071 ns	-0.157 ns	0.032 ns	-0.367 ns	-0.315 ns	-0.440 ns	-0.070 ns	-0.410 ns	0.709 **	-0.028 ns	-0.214 ns
	9月	15	0.038 ns	-0.229 ns	0.292 ns	0.426 ns	-0.010 ns	-0.442 ns	-0.353 ns	0.286 ns	-0.027 ns	0.224 ns	-0.315 ns	-0.218 ns
日照時間	6月	12	0.546 ns	-0.635 **	-0.060 ns	0.027 ns	-0.162 ns	-0.196 ns	0.001 ns	-0.184 ns	-0.161 ns	-0.096 ns	-0.441 ns	-0.435 ns
	7月	12	0.324 ns	-0.238 ns	0.100 ns	0.113 ns	0.044 ns	-0.074 ns	0.161 ns	-0.369 ns	-0.207 ns	0.194 ns	0.028 ns	-0.178 ns
	8月	12	-0.380 ns	0.178 ns	-0.321 ns	-0.155 ns	-0.438 ns	-0.193 ns	-0.410 ns	-0.111 ns	-0.536 ns	0.572 ns	-0.160 ns	-0.471 ns
	9月	12	-0.044 ns	0.091 ns	0.239 ns	0.339 ns	0.007 ns	-0.329 ns	0.100 ns	0.057 ns	0.168 ns	-0.129 ns	-0.321 ns	-0.113 ns

a) *, **はそれぞれ5%水準, 1%水準で有意であること, nsは有意でないことを示す
(有効茎歩合, 粒わら比および登熟歩合は逆正弦変換した値を用いて有意差検定した)

た(第3図)。葉緑素計値は低温年, 高温年とも最高分けつ期よりやや早い7月1日に最大となり, その後は生育の経過に伴い漸減した。6月21日以降, 低温年が高温年より高く推移し, 7月1日および7月21日~8月11日には有意差が見られた(第4図)。

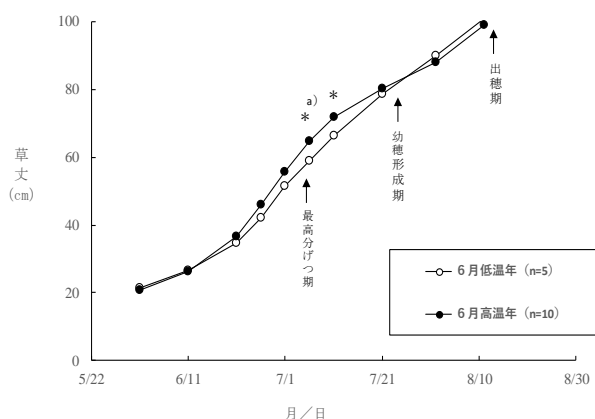
4 6月低温年および高温年における収量および収量関連形質の比較

全重およびわら重には低温年と高温年の間で有意な差が見られなかったが, 精粒重は低温年が高温年に比べ有

意に増加し, 粒わら比は低温年で向上した(第4表)。また, m²当たり粒数および収量は低温年が有意に増加した。穂数, 一穂粒数, 登熟歩合および千粒重には有意な差は見られなかった。

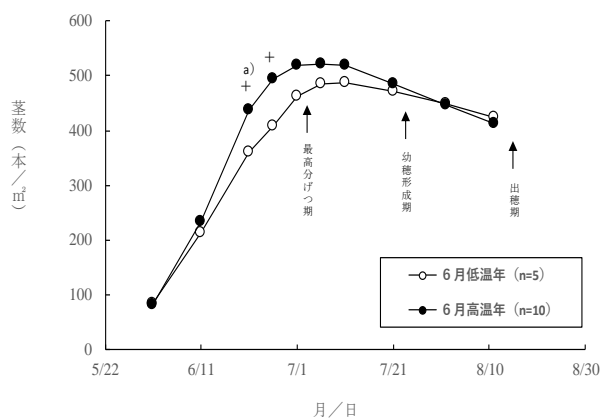
5 6月低温年および高温年の生育ステージの比較

低温年は高温年より移植期~最高分けつ期が4日長かったが, 最高分けつ期~幼穂形成期(ラグ期)は2日短かかった(第5図)。幼穂形成期~出穂期には差が見られず, 出穂期~成熟期は低温年が高温年より3日長かった。



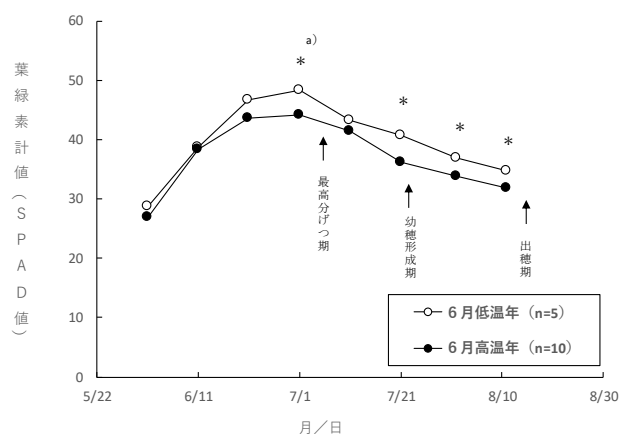
第2図 6月低温年および高温年における草丈の推移

a) *は5%水準で有意差があることを示す



第3図 6月低温年および高温年における茎数の推移

a) +は10%水準で有意差があることを示す



第4図 6月低温年および高温年における葉緑素計値 (SPAD値) の推移^{b)}

a) *は5%水準で有意差があることを示す

b) 7/11よりは2002~2009年8年間のデータを使用した (低温年: n=2, 高温年: n=6)

IV 考察

暖地の平坦地においては水稻の生育中期以降の平均気温と収量との間に負の相関があることが報告されている^{1,9)}。しかし、高冷地の‘ヒノヒカリ’における今回の解析では、7月以降の平均気温と収量との間には相関が認められず、移植後間もない6月の平均気温と収量との間にのみ負の相関が見られた。収量と有効茎歩合および m^2 当たり粒数との間に正の相関があることは、有効茎歩合の向上や m^2 当たり粒数の増加が収量の増加につながることを示している。6月の平均気温と有効茎歩合および m^2 当たり粒数との間には負の相関があり、6月の低温が有効茎歩合の向上や、 m^2 当たり粒数の増加につながり、その結果収量が増加したと考えられる。5月下旬に移植する高冷地‘ヒノヒカリ’においては、6月は活着期～最高分げつ期頃に当たり、茎数増加に最も影響を及ぼす時期といえる。森元ら⁵⁾は、分けつ期の深水処理により無効茎が効率的に抑制され、同化養分が既成茎に振り分けられ、茎が充実することで増収につながることを報告している。茎数増加が高温年に比べて緩慢であった低温年においても深水処理の場合と同様に茎の充実により有効茎歩合が向上し収量が増加したものと推測される。また、武田ら¹⁰⁾は、水稻を暖地で栽培した場合、寒地と比較して生育初期～中期にかけての茎葉の繁茂は旺盛であるが、粒数増加につながりにくいことを指摘している。

本研究の低温年においても生育初期の草丈や茎数が抑制され、粒わら比が増加したことから、低温年においては寒地に類似した生育をしたと考えられる。低温年は高温年に比べ葉緑素計値が高く推移した。水稻の葉色と葉身窒素濃度には高い相関があると報告されており²⁾、葉緑素計値が高く推移した低温年は、高温年に比べ稲体の栄養状態が良好であったと推察される。和田¹²⁾は、最高分げつ期から幼穂形成期までのラグ期(停滞期)には、窒素吸収速度の低下とともに乾物生産が低下することを報告している。また榮ら⁸⁾は、ラグ期の必要以上の長期化は稲体窒素栄養の凋落により有効茎歩合の低下につながることを指摘している。本研究において低温年では、ラグ期が短縮する傾向にあり、そのことで稲体窒素栄養が高く維持されたと考えられる。水稻葉の光合成速度と窒素含有量の間には正の相関関係があることは多くの研究者から報告されており^{3,11)}、高温年より窒素栄養が高く推移した低温年では、同化能力が高く維持され、有効茎歩合の向上や粒数、収量の増加につながったものと推察される。

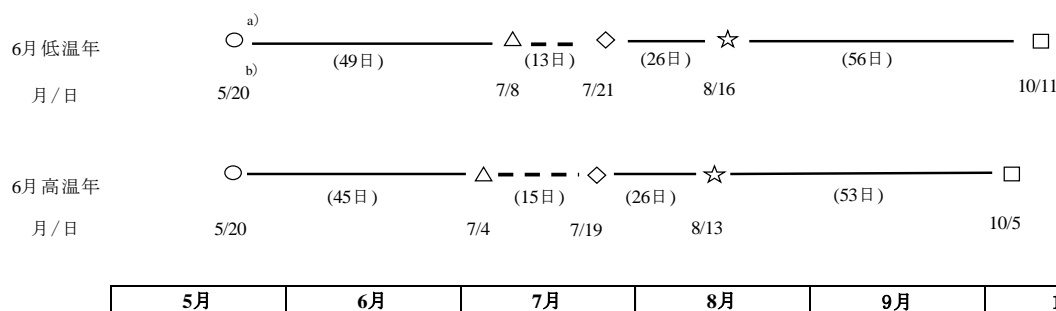
以上のことから、本県の高冷地早植え栽培‘ヒノヒカリ’においては、6月の気温が低いと生育初期の過繁茂が抑制されて有効茎歩合が高まり、また葉色が濃く同化能

第4表 6月低温および高温年の収量および収量関連形質の比較

	全重 (kg/a)	わら重 (kg/a)	精籾重 (kg/a)	精玄米重 (kg/a)	籾わら比	穂数 (/㎡)	一穂粒数 (粒/穂)	㎡当たり粒数 (×100粒/㎡)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	倒伏程度 ^{a)}
6月低温年	192.4	102.9	89.5	69.4	0.87	383.6	96.1	366.7	84.8	22.5	1.3
6月高温年	182.0	104.7	77.3	59.6	0.74	357.4	87.5	311.5	88.1	22.1	0.2
	ns ^{b)}	ns	**	**	*	ns	ns	**	ns	ns	ns

^{a)}倒伏程度は無(0)～甚(5)で示す

^{b)}*, **はそれぞれ5%水準, 1%水準で有意であることを示す (低温年: n=5, 高温年: n=10, 籾わら比および登熟歩合は逆正弦変換した値を用いて有意差検定した)



第5図 試験期間中の生育ステージ

^{a)} ○は移植期、△は最高分げつ期、◇は幼穂形成期、☆は出穂期、□は成熟期を示す

^{b)} 日付は低温年 (n=5) および高温年 (n=10) それぞれの平均値

力が高く維持された結果、 m^2 当たり粒数が増加し増収したと推測される。このことは6月の気温が高いと減収につながることを示唆するものであり、生産現場においては、6月の気温の推移と茎数の増加速度に留意し、高温が予測される年においては、目標茎数確保後の中干し開始時期の早期化や深水管理に努める等の有効茎歩合を向上させるための技術的対応が重要となる。今回は高地力条件での調査であったが、今後は異なる地力条件で検討を重ね、近年の気候温暖化が進む中で稲の収量・品質へ影響を及ぼす気象要因をさらに明らかにする必要がある。

V 謝辞

熊本県農業研究センター農産園芸研究所旧矢部試験地において15年の間、作況調査を担当された方々に感謝の意を表します。

VI 引用文献

- 嵐嘉一・立石静男 (1950) : 秋落的立場から見たる九州地方に於ける水稻の生育収量に及ぼす気象要素の影響 (第1報) 気温関係. 九州農業研究, 6, 95-98.
- 林征三・石原信一郎・今井秀昭 (1979) : 水稻生育中期の葉色と葉身窒素濃度との関係. 北陸作物学会報, 13, 33-34.

- 石原邦・飯田修・平沢正・小倉忠治 (1979) : 水稻葉身の窒素濃度と光合成速度との関係. 日作紀, 48, 543-550.
- 熊本県 (2018) : 平成30年度主要農作物奨励品種特性表. 熊本県農林水産部農産園芸課, 熊本. https://www.pref.kumamoto.jp/common/UploadFileOutput.ashx?c_id=3&id=21332&sub_id=9&flid=16738415 (2019年9月30日閲覧)
- 森元信行・中村洋一・春口真一・三ツ川昌洋・上野育夫・坂梨二郎 (2013) : 高冷地における水稻の生育中期深水処理の倒伏軽減効果. 熊本農研セ研報, 20, 1-5.
- 森田敏 (2009) : 水稻高温登熟障害の生理生態学的解析. 九州沖縄農研セ研報, 52, 1-78.
- 農林水産省 (2019) : 統計情報 作況調査 (水陸稲, 麦類, 豆類, かんしょ, 飼料作物, 工芸作物) 市町村別データ. 農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課, 東京. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyo_u_kome/index.html (2019年9月30日閲覧)
- 榮誠三郎・春口真一・園田芳信 (2007) : 高冷地における熟期の異なる水稻品種の種子生産体系. 熊本農研セ研報, 14, 22-29.
- 鈴木守・中村公則 (1978) : 暖地水稻の収量成立過程における気象要因の影響に関する二・三の解析. 日作紀, 47, 529-535.

- 10) 武田友四朗・岡三徳・梶和一 (1984) : 暖地における
水稲品種の物質生産に関する研究 第2報 明治期
以降の新旧品種の子実生産特性. 日作紀, 53, 12-21
- 11) 津野幸人・山口武視・中野淳一・面地理 (1995) : 水
稲個葉の純光合成速度と葉身窒素含有量との関係に
及ぼす葉身水ポテンシャルならびに葉位の影響. 日
作紀, 64, 483-491.
- 12) 和田学 (1981) : 暖地水稲の Vegetative Lag Phase に関
する作物学的研究. 九州農業試験場報告, 21, 113-250.
- 13) 八木忠之・西山壽・小八重雅裕・轟篤・日高秀光
(1990) : 水稲新品種“ヒノヒカリ”について. 宮崎
総農試研報, 25, 1-30.

Summary

Higher Number of Rough Rice Grains Led to an Increase in Yield in Rice Cultivar “Hinohikari” Production under Low Average Temperatures in June in the Highlands of Kumamoto Prefecture

Hiroki HAYASHIDA and Mitsuru HASHIMOTO

(Highland Agricultural Research Institute)

The increase in chalky grains of rice caused by high temperatures is a problem in the lowlands of Kumamoto, which is the major production area of the leading rice cultivar “Hinohikari.” However, the production of high-quality rice is expected in the highlands of Kumamoto because of the lower temperatures during ripening. The grain yield is, however, unstable, in the highlands. The effects of climate on rice production in southern Japan have been mostly studied in lowlands and rarely in highlands. We have growth and yield data for early-planting “Hinohikari” grown in a plateau in Kumamoto (Yabe Experimental Station, 460 m above sea level) for 15 years (2002–2016). In this study, we analyzed the effects of climate on the grain yield and its components. The annual grain yield was positively correlated with the grain number per m² and the percentage of productive stems. In addition, the annual grain yield was negatively correlated with the average temperature in June. The average temperature in June throughout the 15-year period was 20.6°C. The increases in stem number and plant length were smaller and the chlorophyll content in leaves after the maximum tiller number stage was higher in low-temperature years (5 years; lower than 20.6°C) than in high-temperature years (10 years). The grain-straw ratio of low-temperature years was more expensive than high-temperature years. These results suggest that when the temperature in June is low, improvement of the percentage of productive stems, maintenance of the photosynthetic capacity, and the increase in the number of grains per m² will lead to a yield increase.

Keywords: Rice, Hinohikari, Highland, Yield, Temperature