

緩効性肥料で栽培したコシヒカリの粒数に及ぼす低温・
日照不足の影響

小林和広・今木 正

島根大学生物資源科学部 〒690-8504 松江市西川津町
1060

The Effect of Low Temperature and Low Solar Radiation
on Grain Number in Koshihikari Rice Grown with Slow
Release Nitrogen Fertilizer

Kazuhiro KOBAYASI and Tadashi IMAKI

Faculty of Life and Environmental Science, Shimane

University, Shimane 690-8504 Japan

Abstract

Koshihikari rice was grown with slow release nitrogen fertilizer under three weather conditions, one of which conditions was low air temperature and low solar radiation during the reproductive stage. The rice plants under low temperature and low solar radiation maintained the nitrogen concentration of aboveground parts at the spikelet differentiation stage higher than those grown under the usual weather. The higher the aboveground nitrogen concentration, the more the grain number per unit area in Koshihikari. The number of differentiated

spikelets particularly increased under the low air temperature and low solar radiation condition. This result suggests that Koshihikari rice grown with slow release nitrogen fertilizer tends to obtain surplus grains due to high nitrogen concentration caused by low air temperature and low solar radiation during the reproductive stage.

Key Words: Grain number, Low air temperature, Low solar radiation, Rice, Slow release nitrogen fertilizer.

緒言

現在、島根県の基幹品種であり、全国の作付面積も第1位であるコシヒカリは気象変動の影響を受けやすいといわれている。異常気象によるコシヒカリの減収要因の一つとして、梅雨期間の日照不足（寡照）・多湿による軟弱・徒長化と、その結果としての生育後期の過繁茂が指摘されている¹⁾。1980年と1993年には日本と韓国で低温・寡照による不作が記録されたが、1980年では耐冷性の弱い品種の作付が多かった韓国において1969～1996年の間で最低の収量となり、韓国では耐冷性の強い品種の導入が進んだ。そして、1993年には逆に良食味品種であるコシヒカリやササニシキの作付に偏った日本で同じ期間で最低の収量を記録した²⁾。

コシヒカリは倒伏しやすいため、通常、島根県では基肥を少量に抑え、その後の分けつ肥やつなぎ肥が割愛さ

れる³⁾。このため施肥による天候不順に対応する生育調節がかなり制約される。田中⁴⁾は耐肥性の劣る品種は少量の窒素(N)を施肥しても籾数が増えやすいと指摘している。またさらに冷害年には分けつ発生期間が長く持続し、その結果、平年よりも籾数がかえって増加することが多いことも指摘している⁵⁾。このような現象は、最近利用の増えてきた緩効性肥料を使用した栽培では一層助長されることになろう。実際、低温・寡照条件であった1993年には緩効性肥料の基肥(N成分にして7g/m²)のみで栽培したコシヒカリを用いた著者ら⁶⁾の実験でも籾数は38000/m²に達し、その結果、登熟歩合が大きく低下して減収した。このことから低温・寡照条件下で生殖生長期を迎えたコシヒカリは体内N含有率が低下せず、籾数が高温・多照条件下より増加するのではないかと予想される。そこで本実験では生殖生長期全体を低温・寡照条件下および高温・多照条件下でそれぞれ生育したコシヒカリの籾数を比較し、体内窒素が籾数に及ぼす影響を検討した。

材料及び方法

1. 栽培の概略

1995年に品種コシヒカリを用いて実験を行った。育苗は箱育苗とし、その他の栽培管理は島根県の栽培指針に従って行った。生殖生長期の気象が低温・寡照な時期(梅雨)あるいは高温・多照な時期(梅雨明け1か月)に

当たるように第1表に示した3作期（播種期・移植期）を設け，栽培を行った．作期1は生殖生長期の全期間が低温・寡照条件となるように移植を早くしたものである．初期発育促進のために約1ヶ月ポリエチレン製の透明なシートで水田を被覆して保温した．作期2は島根県の慣行の移植時期である．移植の遅い作期3は生殖生長期全期間が梅雨明け以降の高温・多照条件となるようにしたものである．いずれの作期も約30日間育苗の後，1株2本植の栽植密度 $22.2株/m^2(15 \times 30cm)$ で移植した．緩効性肥料(LP444E80)をN，リン酸，カリの成分がそれぞれ $7g/m^2$ になるように基肥で与えた．追肥は行わなかった．水管理は常時湛水とした．3反復で行い，1区の面積は $30.7m^2$ とした．

2. 調査項目

気温，全天日射量を1時間間隔で生育全般を通して測定した．田面における水温を1時間間隔で生殖生長期に測定した．穂首分化期約20日前（作期1，2のみ），穂首分化期，穎花分化期，穂ばらみ中期，穂ぞろい期の4～5回，1区6～10株を抜き取り，地上部乾物重，分げつ数を調査した．また，このサンプルを用いてケルダール法により地上部N含有率（以下N含有率）を測定した．穂ぞろい期には葉鞘と稈中の非構造型炭水化物(NSC)含有率も測定した．NSCは可溶性糖とデンプンの和とした．可溶性糖はアントロン硫酸法で，デンプンは酵素法（ベーリンガー・マンハイム社のFキット・スターチを

使用した) で定量した。収量調査は各区10株をサンプリングして行った。登熟歩合は比重1.06の硫酸水で求めた。収量と千粒重は水分含有率14%に換算した。穂首分化期の直前から数日おきにサンプリングし、実体顕微鏡下で幼穂を観察し、穂首分化期以降の発育経過を調査した。以下、穂首分化期から穎花分化終期までを幼穂形成期、花粉母細胞分化期から出穂期までを穂ばらみ期とし、幼穂形成期と穂ばらみ期を合わせて、生殖生長期とした。出穂期直前に穂を1区10株サンプリングし、穎花の退化痕跡を追跡する松島の方法⁷⁾で分化穎花数と退化穎花数を調査した。分化穎花数と退化穎花数の差を現存穎花数とした。なおサンプルが異なるので、収量調査で得た面積当たり籾数と現存穎花数の値は完全には一致しなかったもののほぼ同様の傾向を示した。

結果及び考察

1. 各作期の発育段階別の気象条件

作期1では播種日が作期2よりも約3週間早く、移植後1ヶ月をビニールで保温したために穂首分化期は作期2よりも11日早く、出穂期も11日早かった(第1表)。作期3では作期2に比べて高温と短日の影響でコシヒカリの栄養生長期間が18日短縮し、穂首分化期が17日遅く、出穂期が12日遅かった。

1995年の島根県の気象は平年に比べ6月は低温傾向に加え、日照不足であった⁸⁾。この低温は7月上旬まで、日

照不足は7月下旬まで続いた。しかし、8月にはいると高温で多照の日が続いた。9月はやや低温で、日照も少な目となった。このため、作期1で予定通り低温寡照下での生育となった(第1図, 第2図, 第2表)。生殖生長期の全天日射量をみると作期1では $14.8\text{MJ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ と少なく、作期2ではそれよりも17.6%多い $17.4\text{MJ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ 、作期3では40%多い $20.8\text{MJ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ であった(第2表)。次に幼穂形成期、穂ばらみ期および生殖生長期全期間の平均気温をみると、作期1ではそれぞれ 23.9°C 、 26.8°C および 25.4°C となり、比較的低温に推移した。一方、作期2では幼穂形成期の平均気温は 25.8°C とやや低温だったが、穂ばらみ期のそれは 28.6°C と高く推移した。作期3では生殖生長期を通じた平均気温が 28.7°C であった。水温についても気温とほぼ同様の傾向であったが、栄養生長期間が長くて葉面積の拡大が大きかった作期1, 2で水温が気温よりやや低い傾向であった。以上のように生殖生長期は作期1では低温・寡照条件での、作期2, 3と作期が遅れるにつれて高温・多照条件での生育となった。

2. 収量と収量構成要素

低温・寡照のもとで生殖生長期を生育した作期1のコシヒカリでは面積当たり籾数が $50000/\text{m}^2$ 近くになったが、登熟歩合も64.4%とそれほど低下しなかったため $670\text{g}/\text{m}^2$ という比較的高い収量となった(第3表)。作期2では籾数、登熟歩合ともに標準的であり、収量も標準的な $494\text{g}/\text{m}^2$ であった。作期3の面積当たり籾数は作期2とほ

ぼ同等だったが，登熟歩合が50.9%と低く，低収(433g/m²)になった．作期1と作期2では登熟期の気象(8月)が良好だったのに対して，作期3では登熟期(9月)の気象が悪かったことが登熟歩合を低下させ，低収となった原因と推察された．

作期1で面積当たり籾数が多かったのは，1穂籾数が93と作期2，3と同程度だったにもかかわらず，穂数が520本/m²と著しく多かったためである．作期2の最高分げつ数は657本/m²で作期1と同程度だったが，無効分げつが多かったために穂数が作期1に比べてかなり少なくなった(第3図)．作期3では有効茎歩合は93%と高かったが，穂数は389本/m²と少なく，作期2にも及ばなかった．

3. 分化穎花数，退化穎花数

作期1の分化穎花数，現存穎花数はそれぞれ78411/m²，53878/m²と著しく多かった(第4表)．作期2と作期3では現存穎花数にはほとんど差がなかったが，分化穎花数と退化穎花数の2つに分けると異なった傾向が認められた．すなわち作期2では分化穎花数(53447/m²)，退化穎花数(13133/m²)ともに多かったのに対し，作期3では分化穎花数(43396/m²)，退化穎花数(5476/m²)ともに少なかった．

4. 窒素含有率の推移と分化穎花数の関係

作期1では栄養生長期が長かったため穂首分化期前20日間のN含有率は作期2，3よりも低く推移した(第4図

)。しかし、穂首分化期以降のN含有率の低下が小さく、出穂期では作期1の方が作期2よりもN含有率が高かった。穂首分化期から穎花分化始期にかけてのN含有率の低下が小さいほど、2次枝梗の分化が促進されることを考えると⁹⁾、作期1の籾数が多いのは低温・寡照な気象のために穎花分化始期前後におけるN含有率の低下が抑制されたことに起因したと推察された。すなわち穂首分化期から穎花分化始期の間に作期1のN含有率は0.13%の低下だったのに対し、作期2と作期3ではそれぞれ0.50%、0.38%とその低下が大きかった。

小林・堀江⁹⁾は面積当たり分化穎花数は穎花分化始期の地上部N量と穂首分化期から穎花分化始期までのN含有率の増分の2者によって決まるとしている。例えば、穂首分化期において2.17%、穎花分化始期において1.62%と平均的にN含有率が推移した日本晴では穎花分化始期に地上部N量が14g/m²以上でないと5万を越す分化穎花を得られないと計算された。しかし、穎花分化始期における作期1のコシヒカリの地上部N量は11.97g/m²でしかなく(第5表)、穂首分化期から穎花分化始期の間、N含有率を高く維持し、その間の窒素含有率の低下が0.13%しかなかったことが穎花の分化を著しく促進したと考えられる。さらに本実験の作期1~3のコシヒカリの体内Nの値を使って、日本晴の分化穎花数を小林・堀江⁹⁾の式から計算すると49440、40230および38120/m²となった。これを第4表のコシヒカリの分化穎花数と比較

すると、コシヒカリの方が同じ窒素条件でも日本晴より多くの穎花を分化することがわかった。

一方、作期3では穂首分化期のN含有率が3.4%と高かったが、その後急速に低下し、穎花分化期以降は作期1とほとんど同じN含有率となった。このような作期3の急速なN含有率の低下が穎花分化始期の地上部N量が 7.91g/m^2 と少ないこととあいまって分化穎花数を一層減少させたのではないかと考えられる。

5. 蓄積非構造型炭水化物，全天日射量と退化穎花数の関係

穂ぞろい期に葉鞘と稈中に蓄積されたN S C量は作期2で顕著に高かった(第5表)。生殖生長期中の全天日射量，穂ぞろい期の蓄積N S C量はともに作期1においてもっとも低かったにもかかわらず，退化穎花数はそれほど多くなく，その結果現存穎花数は十分に確保された。逆に作期2では全天日射量とN S Cが多かったにもかかわらず(第5表)，穎花退化率は24.6%とかなり高かった(第4表)。このように今回の実験では蓄積N S C量も全天日射量も穎花の退化にほとんど関与していなかった。秋田¹⁰⁾は生殖生長期に幼穂の発育にすぐに使われるN S Cと，この時期には茎葉部に蓄積され，登熟期に利用されるN S Cの両者が競合している可能性を示唆している。この考え方からすると，本実験で作期2の穎花の退化率が比較的高かったのは幼穂の発育よりもN S Cの蓄積に同化産物を分配したためかもしれない。

6. 今後の検討課題

今回の作期1のように生殖生長期だけを寡照にさせると、穂数を十分に確保でき、穂数が多いにも関わらず1穂粒数も他の作期と同程度となった。1993年の不作を検討すると、コシヒカリ、ササニシキのような耐肥性の劣る品種では宮城県¹¹⁾、関東地方¹²⁾、中国地方¹³⁾で面積当たり粒数がかえって増大している例がみられ、そのことが登熟歩合をさらに悪化させたと考えられる。このような低温・寡照によって高く維持された体内N含有率による粒数の増加については今回の実験だけでなく、実際の低温・寡照年のデータもさらに検討していく必要があるだろう。

基肥に緩効性肥料を利用し、追肥を省略した場合、あるいは家畜糞尿や野菜くずなどの未熟有機物を多量にすきこんだために生育後半にもNが長く効いた場合に1993年の低温・寡照の被害が大きかったという報告もある¹⁴⁾。高いN含有率はいもち病を代表とした病虫害の被害を大きくする要因であるが、そればかりでなく今回でみたように粒数を過剰に着生する要因ともなる。今回使用した緩効性肥料LP444E80はNが生育前半に偏って効くタイプであり、中干しなど生育中期のN制限もある程度可能である。しかし、近年普及が進んでいるタイプの緩効性肥料ではNの溶出が生育後半に偏っているため、ますます生育途中での生育調節が難しくなっていると推察される。地力が前半に発現しがちな暖地の水稻ある

いは緩効性肥料を基肥のみに施用する栽培では生殖生長期に低温・寡照となったときにいかにN含有率を下げ、過剰な籾数をつけないかという技術が必要になると考えられる。N含有率の低下しにくい環境条件においても籾数を制御できるような技術として、中干し、間断灌漑などがある。しかし、コシヒカリにおいては低温・寡照条件ではこれ以外の技術をさらに開発して、対応できるようにする必要がある。特に近年多くなった緩効性肥料の利用を前提とした不順な天候対策としての籾数抑制技術はきわめて重要といえよう。

摘要

低温・日照不足（寡照）の気象条件下において緩効性肥料で栽培したコシヒカリでは生殖生長期の体内窒素含有率が高く維持されるために籾数が増大するという仮説のもとに、生殖生長期全期間の気象条件が低温・寡照および高温・多照条件になるように3作期を設けてコシヒカリを栽培し、それらの籾数を体内窒素含有率の点を中心に比較した。

1. 生殖生長期を低温・寡照下で生育したコシヒカリの籾数は高温・多照条件下のそれよりも多く、約5万/m²に達した。
2. 低温・寡照下では高温・多照条件下より地上部窒素含有率は低下しにくく、その結果、分化穎花数が7万/m²を越した。この過剰な分化穎花数の結果、籾数が著しく

多くなった。

3. 以上より，生殖生長期に低温・寡照条件下で生育したコシヒカリは高温・多照条件下より地上部窒素含有率が高く維持されることにより，籾数が増大しやすいと考えられる。

キーワード:緩効性窒素肥料，水稻，低温，日照不足，籾数。

謝辞

本実験を行うに当たり，本学学生の浮田理恵さんの多大なる協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 岩田忠寿:新時代におけるコシヒカリの役割，日本作物学会北陸支部・北陸育種談話会編，コシヒカリ，農山漁村文化協会，東京，37-38，1995.
- 2) 林陽生・鳥谷均・後藤慎吉・菅野洋光・鄭英祥・黄水鎮・金海東:予想される気候の揺らぎのもとでの日本・韓国地域の水稲生産量変動の予測，農業気象，55(2):117-125，1999.
- 3) 山根国男:島根県のコシヒカリ栽培，日本作物学会北陸支部・北陸育種談話会編，コシヒカリ，農山漁村文化協会，東京，508-510，1995.

- 4) 田中 稔:稲作技術, 農山漁村文化協会, 東京, 1973.
- 5) 田中 稔:水稲の冷害防止と研究の在り方, 日作東北支部報, 20:159-161, 1978.
- 6) 小林和広・川住裕幸・今木 正:吸収窒素に対して穎花数の異なる水稲3品種の枝梗分化・退化数の比較, 日作紀, 63(別2):275-276, 1994.
- 7) 松島省三:水稲の収量成立原理とその応用に関する作物学的研究, 農技研報, A5:1-271, 1957.
- 8) 松江地方気象台・日本気象協会松江支部:島根県気象年報, 1995.
- 9) 小林和広・堀江 武:水稲の穎花ならびに枝梗分化におよぼす生殖生長期の体内窒素の影響, 日作紀, 63(2):193-199, 1994.
- 10) 秋田重誠:水稲におけるシンクサイズと非構造的蓄積炭水化物量の関係, 日作紀, 60(別1):88-89, 1991.
- 11) 宮城県農業センター:宮城県における平成5年度異常気象による水稲・畑特作物被害の実態と解析, 宮城県農業センター臨時報告, 25:1-118, 1994.
- 12) 長南信雄:関東地方の不作の実態調査とその解析, 1993年の異常気象による水稲不作の実態と栽培技術上の問題点の解明, 文部省科学研究費総合研究(A)研究成果報告書, 研究代表者 津野幸人, 48-58, 1995.
- 13) 今木 正:中国地方の不作の実態調査とその解析, 1993年の異常気象による水稲不作の実態と栽培技術上の

問題点の解明，文部省科学研究費総合研究(A)研究成果報告書，研究代表者 津野幸人，107-145，1995.

14) 縣 和一・吉田智彦・下坪訓次・松江勇次・田中浩平:九州地方の不作の実態調査とその解析，1993年の異常気象による水稻不作の実態と栽培技術上の問題点の解明，文部省科学研究費総合研究(A)研究成果報告書，研究代表者 津野幸人，173-209，1995.

第1表 各作期の播種日・移植日および発育段階

	播種日	移植日	穂首分化期	穎花分化始期	減数分裂期	出穂期
作期 1	3/24	4/26	6/24	7/1	7/17	7/27
作期 2	4/17	5/17	7/5	7/13	7/26	8/7
作期 3	5/23	6/21	7/22	7/29	8/10	8/19

第2表 各作期の生殖生長期における全天日射量，気温，水温の日平均値

		幼穂形成期	穂ばらみ期	生殖生長期
全天日射量 (MJ m ⁻² d ⁻¹)	作期 1	14.0	15.6	14.8
	作期 2	13.0	22.3	17.4
	作期 3	21.2	20.5	20.8
気温 (°C)	作期 1	23.9	26.8	25.4
	作期 2	25.8	28.6	27.1
	作期 3	28.5	28.8	28.7
水温 (°C)	作期 1	22.9	24.2	23.6
	作期 2	24.5	25.5	25.0
	作期 3	28.8	28.3	28.6

各作期の幼穂形成期，穂ばらみ期の期間については第1図を参照.

第3表 各作期の収量および収量構成要素

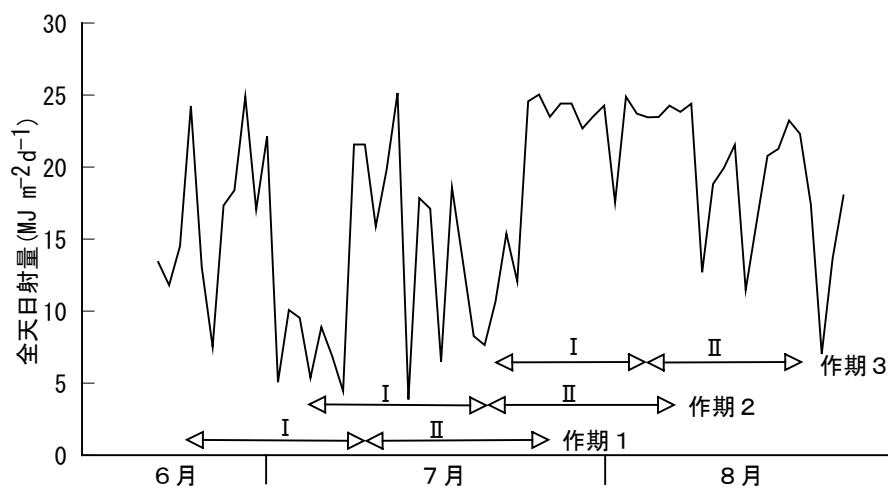
	収量(g/m ²)	穂数(/m ²)	1穂粒数	登熟歩合(%)	千粒重(g)	m ² 当たり粒数
作期 1	670	520	93.0	64.4	21.6	48399
作期 2	494	406	86.4	64.8	21.8	35006
作期 3	433	389	93.2	50.9	23.4	36275

第4表 各作期のm²当たりの分化穎花数・退化穎花数・現存穎花数・穎花退化率

	分化 穎花数	退化 穎花数	現存 穎花数	穎花退化 率(%)
作期 1	78411	24533	53878	31.3
作期 2	53447	13133	40313	24.6
作期 3	43396	5476	37920	12.6

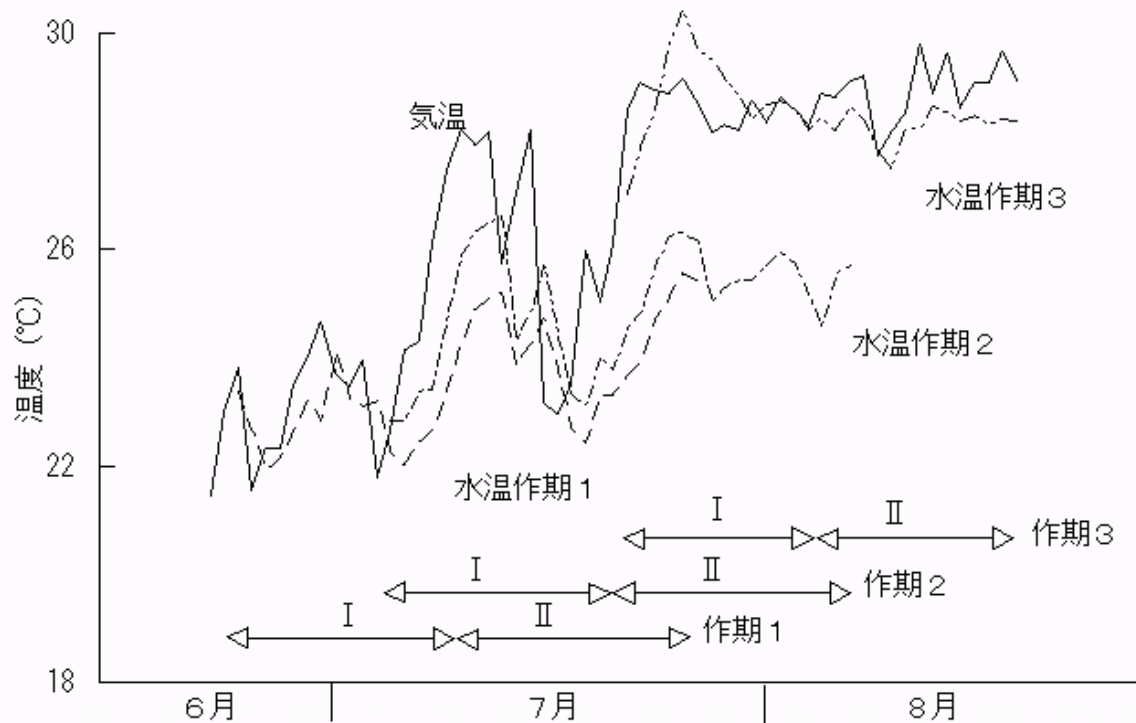
第5表 各作期の穎花分化始期における地上部窒素量、生殖生長期の積算全天日射量、穂ぞろい期における葉鞘と稈中の蓄積非構造化炭水化物量

	地上部窒素量 (g/m ²)	積算全天日射量 (MJ/m ²)	非構造化炭水化物量 (g/m ²)
作期 1	11.97	488.5	13.4
作期 2	9.34	559.4	61.4
作期 3	7.91	583.4	24.8



第1図 生殖生長期の全天日射量の推移

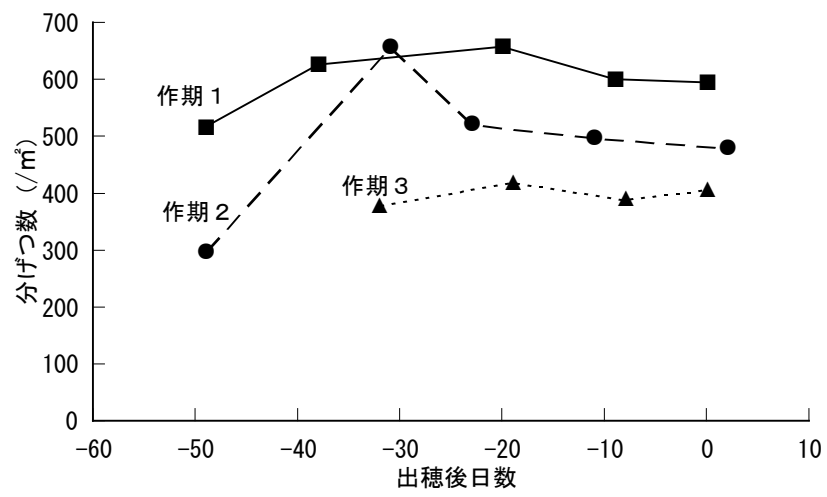
※ 矢印の I は幼穂形成期, II は穂ばらみ期を示す.



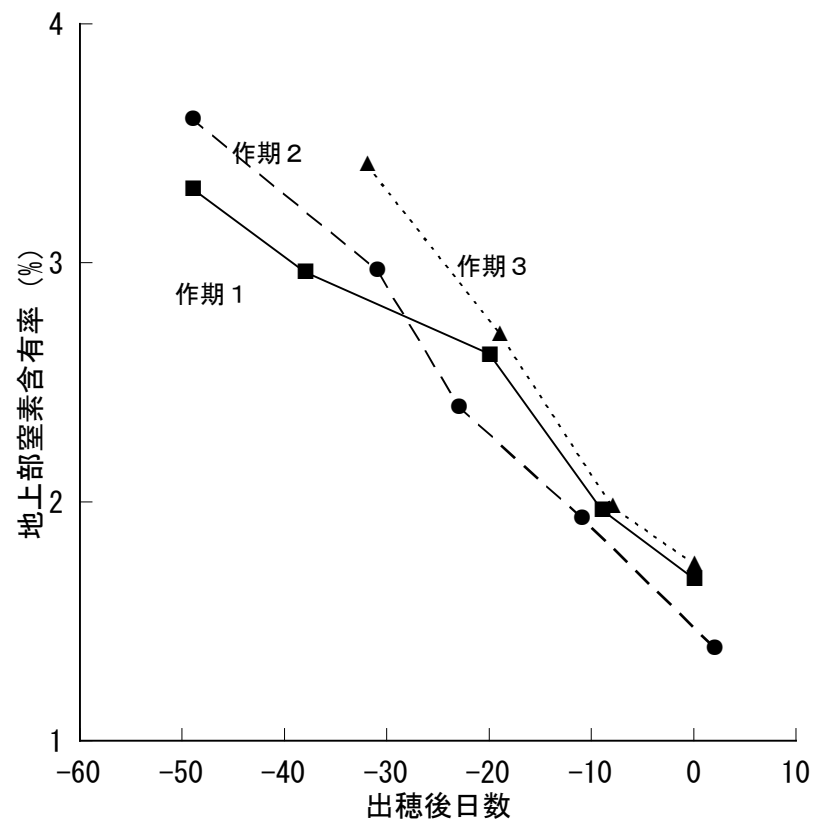
第2図 生殖生長期の日平均気温と日平均水温の推移

※ 矢印の I は幼穂形成期，II は穂ばらみ期を示す。

実線は気温，破線は作期1の水温，一点鎖線は作期2の水温，二点鎖線は作期3



第3図 分げつ数の推移



第4図 地上部窒素含有率の推移