Ⅱ　温暖化対策技術

1　近江米の１等米比率と温暖化の状況

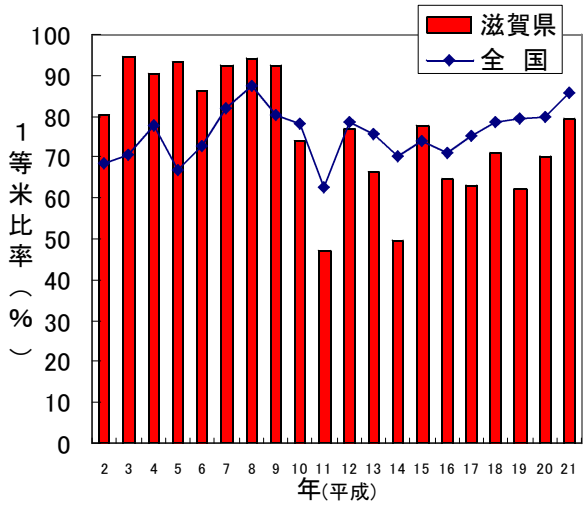
(1)　１等米比率の推移

滋賀県産米の１等米比率は、平成10年以降低迷しており、平成15年を除き全国平均以下となっている（図Ⅱ-1-1）。

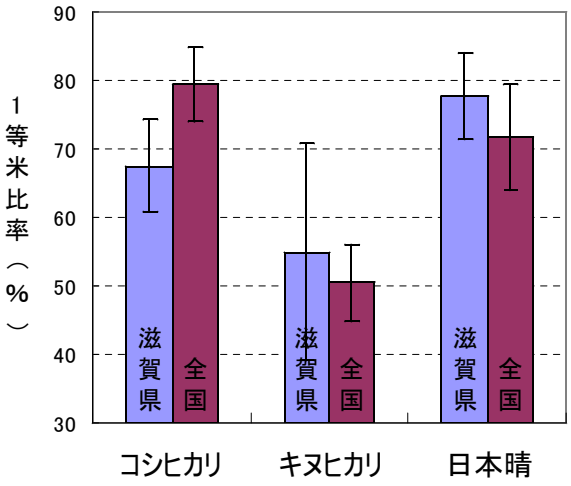
品種別には、「コシヒカリ」が特に全国平均を下回っている。「キヌヒカリ」は、本県だけでなく、全国的に１等米比率が低い（図Ⅱ-1-2）。

全国的な傾向としては、１等米比率は南ほど低い傾向にある（図Ⅱ-1-3）。

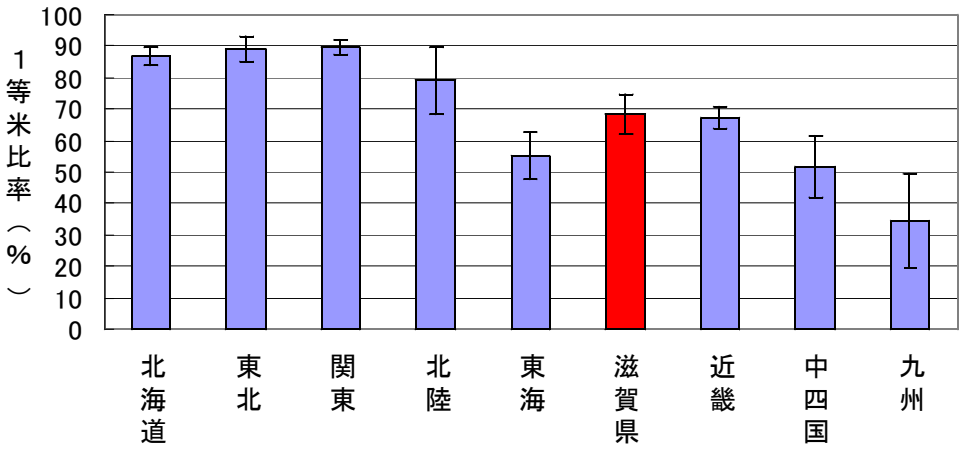
県内では、１等米比率の高い地域と低い地域の差は大きい。同じ地域内でも集落や農家による差があり、良い地域や農家は毎年良い傾向が見られる。このため、１等米比率低下の要因は、気象だけではなく、栽培的要因も大きいと言える。



図Ⅱ-1-1　１等米比率の推移(近20年間:H2～H21年)
農水省公表数値。H14までは翌年3月末、H15～H20は翌年10月末、H21は11月末数値。（図Ⅱ-1-2、3も同じ）



図Ⅱ-1-2　品種別１等米比率の滋賀県と全国の比較(H16～H21の6年間の平均)
エラーバーは標準偏差を表す。



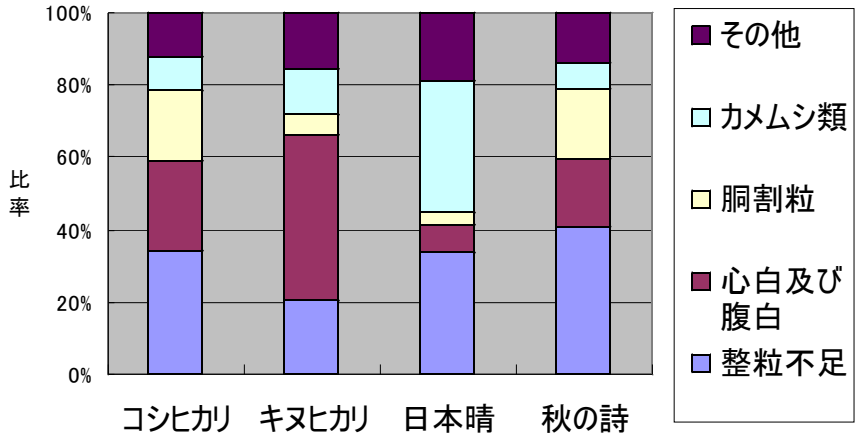
図Ⅱ-1-3　　全国の地域別１等米比率(H16～H21の6年間の平均)　エラーバーは標準偏差を表す。

(2) ２等以下格付け理由

滋賀県産米うるち玄米における２等以下格付け理由は、整粒不足、心白及び腹白、胴割粒、カメムシ類による着色粒の割合が多い(図Ⅱ-1-4､資料-７)。

整粒不足、心白及び腹白は、整粒が少なく未熟粒が多い場合に該当する。未熟粒には白未熟粒、青未熟粒、その他未熟粒があり、整粒不足、心白及び腹白に格付けされる場合は、白未熟粒とその他未熟粒が大半を占めている。

品種別には、コシヒカリでは、白未熟粒、その他未熟粒、胴割粒が多く、キヌヒカリでは特に白未熟粒が多い。日本晴ではカメムシ類による斑点米が多い。



図Ⅱ-1-4　品種別２等以下格付け理由の割合（H17～H21の5年間の平均）
（JA全農しが検査課翌年10月末数値、H21は10月末）

(3) 温暖化の状況

① 夏の気温の変化（全国）

全国の夏の気温が上昇しており、上昇度は最高気温より最低気温の方が大きく、気温の日較差が縮まっている（表Ⅱ-1-1）。この気温上昇は、特にここ20年で進んでいる。

登熟期間（出穂～刈取）の最低気温は、20年前と比べ上昇しており、特に九州では約３℃上昇している（表Ⅱ-1-2）。今後、全国の夏季の気温はさらに上昇すると予想されている（図Ⅱ-1-5）。

表Ⅱ-1-1　全国の夏（７～９月）の気温の変化（近100年間）

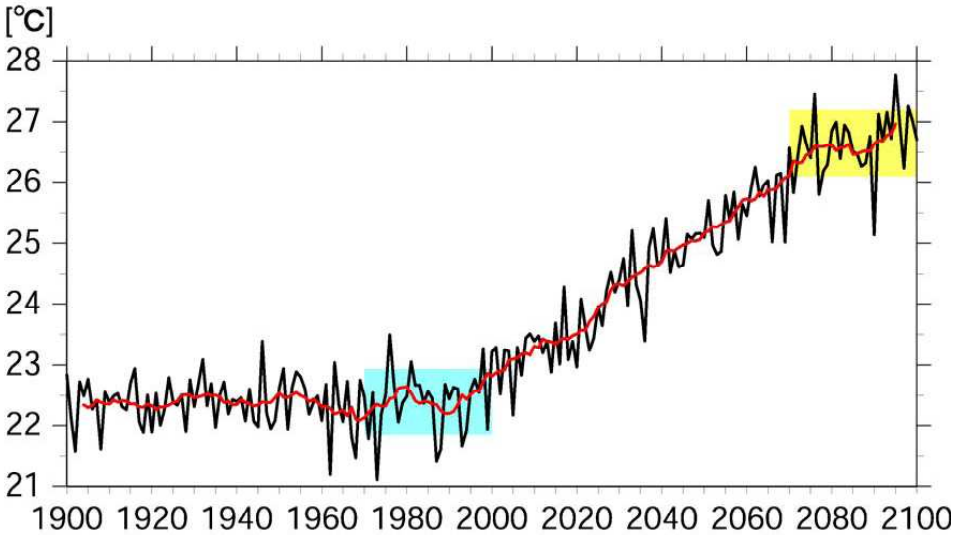
	最高気温	最低気温	日較差
全国（夏）	※0.56℃/100年	※1.30℃/100年	－0.74℃/100年
北日本（夏）	0.27℃/100年	※0.80℃/100年	－0.52℃/100年
西日本（夏）	※0.92℃/100年	※1.60℃/100年	－0.68℃/100年

「温暖化に伴う最近の気象変化と米生産への影響」（平成19年6月農林水産省統計部）より引用。※は統計的に有意。

表Ⅱ-1-2　登熟期間（出穂～刈取）の最低気温の20年前と現在の比較

	20年前 (S57～S61の５カ年平均)	現在 (H14～H18の５カ年平均)	上昇度
全国	17.6℃／日	19.0℃／日	（＋1.4℃／日）
北海道	12.6℃／日	13.7℃／日	（＋1.1℃／日）
九州	17.5℃／日	20.4℃／日	（＋2.9℃／日）

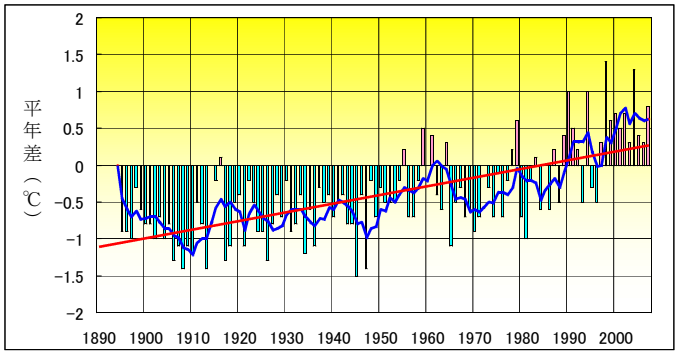
出展は表Ⅱ-1-1と同じ。　注）アメダスデータより



図Ⅱ-1-5 1900年から2100年までの日本の領域で平均した夏季(6･7･8月）の平均気温
環境省H16.9公表地球シミュレーションによる最新の地球温暖化予測計算。2001 年以降についてはシナリオ「A1B」を用いた結果。折れ線が年々の値で、曲線が１０年移動平均を施したもの。2071～2100 年の年々のゆらぎの標準偏差は0.52 で、1971～2000 年の標準偏差（水色）0.54 と比較して大きくない。都市化の影響は考慮されていない。

② 気温の変化（滋賀県）

彦根の気温は100年間で1.18℃上昇している。特に1990年以降の上昇傾向が著しい（図Ⅱ-1-6）。最高気温が0.68℃/100年、最低気温が1.70℃/100年の上昇で、最低気温の上昇割合が高い。夏季（６～８月）の最高気温は0.70℃/100年、最低気温は1.89℃/100年の上昇となっている。



図Ⅱ-1-6　彦根の年平均気温の平年差（1894～2007年）（気象庁彦根地方気象台提供）

③　近年の稲作期間の気象と水稲生育の変化

ア　気象の変化

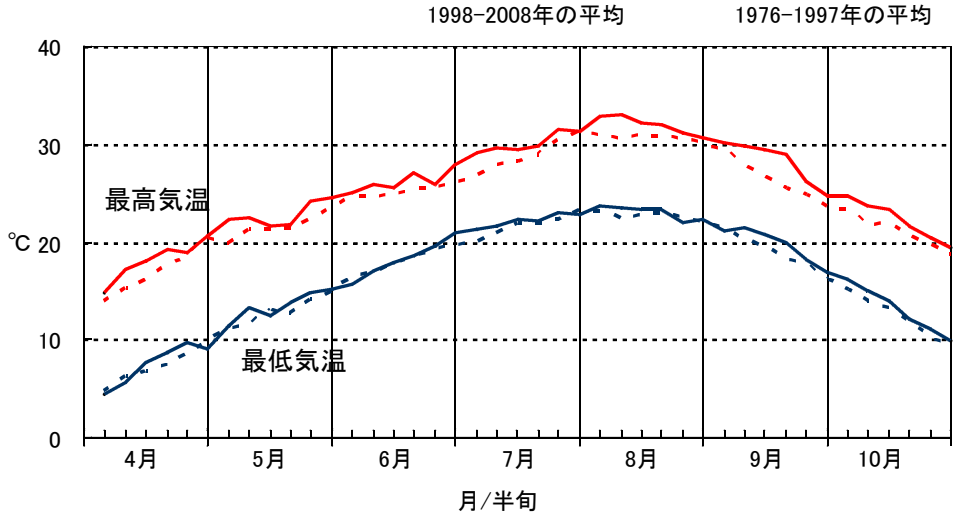
本県で１等米比率の低下が見られるようになった1998年から2008年の11年間の稲作期間の気象をそれ以前の22年間(1976～1997年)と比較すると、全稲作期間をとおして気温は上昇しており、特に最高気温の上昇幅が大きい。日照時間は４月から８月まで、降水量は６月から９月までそれぞれ少なくなっており、いずれも全稲作期間合計では少なくなっている(表Ⅱ-1-3、図Ⅱ-1-7)。

こうした気象の変化、特に登熟期の気温の上昇、日照時間の減少、降水量の減少は、白未熟粒や胴割粒の増加に影響しているものと考えられる。

表Ⅱ-1-3　「1998-2008年(11年間)の平均」と「1976-1997年(22年間)の平均」との気象の比較

月	日最高気温の差(℃/日)	日最低気温の差(℃/日)	日平均気温の差(℃/日)	日照時間の比	降水量の比
4月	+1.12	+0.23	+0.61	92.4%	82.0%
5月	+1.17	+0.52	+0.63	88.2%	114.6%
6月	+0.97	+0.15	+0.27	91.7%	86.8%
7月	+1.20	+0.42	+0.39	90.4%	88.4%
8月	+1.26	+0.31	+0.22	98.0%	97.4%
9月	+1.80	+0.80	+0.95	115.2%	81.8%
10月	+1.16	+0.72	+0.81	103.3%	145.5%
4～10月	+1.24	+0.45	+0.55	96.6%	95.9%

(滋賀農技セ:安土町大中)



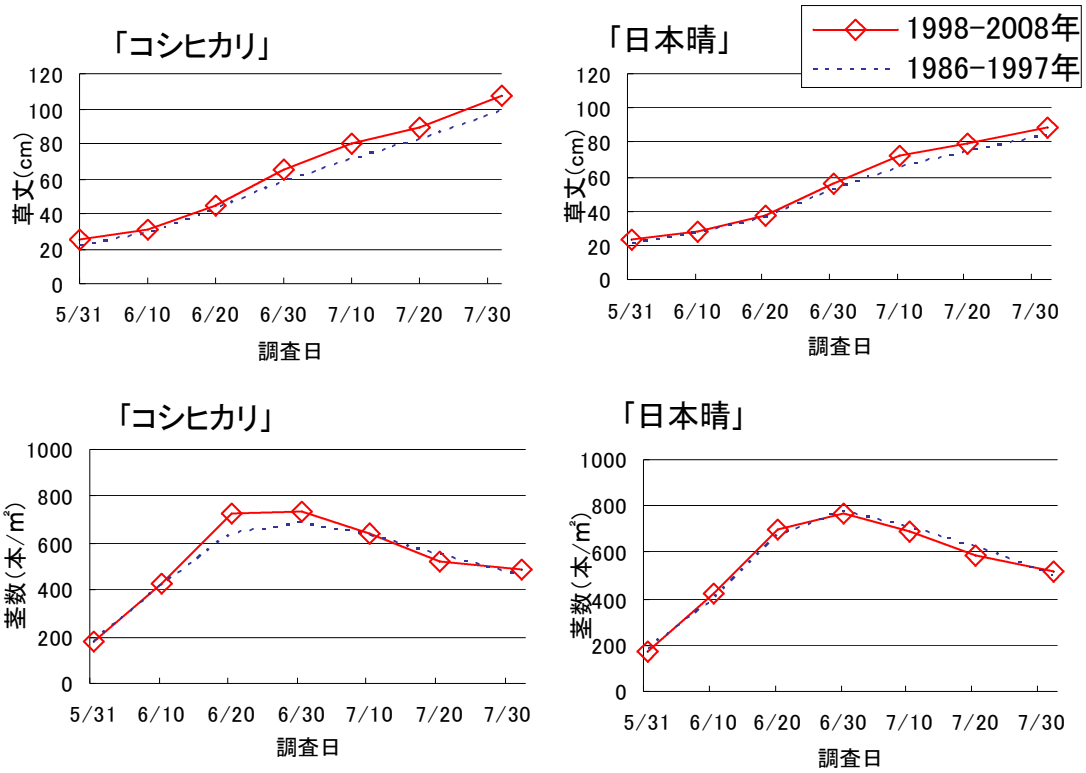
図Ⅱ-1-7　「1998-2008年(11年間)の平均」と「1976-1997年(22年間)の平均」との稲作期間の気温の比較
(滋賀農技セ：安土町大中)

イ　水稲生育の変化

近年（1998～2008年の11年間）とそれ以前（1986～1997年の12年間）の水稲作況試験におけるデータを比較すると、「コシヒカリ」では、分げつ期の気温の上昇の影響で、草丈は長く推移し、茎数は６月中下旬に多くなり最高分げつ数が増加し有効茎歩合が低下している。「日本晴」では、草丈は長めに推移しているが、茎数の推移に差は見られない（図Ⅱ-1-8）。

幼穂形成期、出穂期は両品種とも１～２日早まっており、成熟期は登熟期の気温の上昇の影響でかなり早くなり、登熟日数は４～６日短くなっている。

収量構成要素は、「コシヒカリ」では、穂数、一穂籾数ともに増加し、㎡あたり籾数が１割増え、登熟歩合は逆に１割低下し、屑米の割合が増加している（表Ⅱ-1-4）。



図Ⅱ-1-8　「1998-2008年（11年間）の平均」と「1986-1997年（12年間）の平均」との生育の比較
５月10日移植。水稲作況試験（滋賀農技セ1986～2008年）

表Ⅱ-1-4　「1998-2008年（11年間）の平均」と「1986-1997年（12年間）の平均」との生育期、収量、収量構成要素の比較

		幼穂形成期	出穂期	成熟期	登熟日数	精玄米重	穂数	一穂籾数	㎡当たり籾数	登熟歩合	千粒重	ワラ重	屑米重
		月日	月日	月日	日	(kg/a)	(本/㎡)	(粒)	(粒)	(%)	(g)	(kg/a)	(kg/a)
コシヒカリ	近年(1998～2008)	7月5日	7月30日	9月2日	34	58.4	460	80.4	36,710	75.0	21.50	78.2	5.3
	以前(1986～1997)	7月7日	7月31日	9月7日	38	59.3	440	75.6	33,520	83.0	22.13	72.3	4.5
	比または差	-2	-1	-5	-4	98	105	106	110	90	97	108	118
日本晴	近年(1998～2008)	7月17日	8月10日	9月16日	37	65.2	476	70.1	33,267	88.2	22.23	97.1	2.0
	以前(1986～1997)	7月19日	8月12日	9月24日	43	62.0	461	67.7	31,219	88.4	22.44	90.2	1.8
	比または差	-2	-2	-8	-6	105	103	104	107	100	99	108	111

水稲作況試験（滋賀農技セ1986～2008）。移植日は5月10日。
施肥　コシヒカリ　1986(S61)-1994(H16)基肥3-追肥2-穂肥3-実肥2、1995(H17)-2008(H20)基肥3-追肥2-穂肥Ⅰ2-穂肥Ⅱ2
日本晴　全年　基肥3-追肥3-穂肥4

２　品質低下の要因

(1) 品質低下の主な要因

近年、近江米で２等以下格付けの主な理由となっている白未熟粒、その他未熟粒、胴割粒、カメムシ類による斑点米について、主要な要因を表Ⅱ-2-1にまとめた。

表Ⅱ-2-1　近年、近江米で問題となっている品質を落とす玄米の種類と発生要因

種　類			解　　説	気象的要因	栽培的要因
未熟粒	白未熟粒	乳白粒	胚乳部に白色不透明な部分がある。登熟初中期にデンプンの供給がおいつかず、部分的にデンプンが不足して発生する。	登熟初期（出穂後20日間）の高温または日照不足	籾数過多（弱勢穎果に多く発生）※「コシヒカリ」では総籾数30,000粒/㎡を上回ると発生率が高まる
		背白粒	米粒の背部に白色不透明な部分がある。成熟期後半にデンプンの充実が阻害されて発生する。	登熟中後期（出穂２週間後～３週間後）の高温	登熟期の稲体の活力低下（出穂前後～成熟期までの水不足、生育後半の栄養不足、病害）
		基部未熟粒	米粒の基部に白色不透明の部分がある。成熟最終期にデンプンの充実が阻害されて発生する。		
	その他未熟粒		充実の不十分な粒で、扁平で厚みが薄いもの、縦溝が深いもの、皮部の厚いもの等がある。	白未熟粒と同じ	白未熟粒と同じ
被害粒	胴割粒		米粒に亀裂がある。気象条件等による吸水や放水のために粒内水分が不均一となりゆがみを生じて発生する。	出穂後10日間の高温(特に最高気温)	早期落水、刈り遅れ、急激な乾燥、過乾燥、生育後半の栄養不足
着色粒	カメムシ類による斑点米		乳熟期から黄熟期にかけてカメムシ類による吸汁被害を受け、吸汁痕の周りが褐変あるいは斑紋となる。		畦畔雑草でのカメムシ類の増殖 適期防除の不実施

(2) 白未熟粒の発生要因

①　白未熟粒の種類

うるち玄米において、本来は半透明になるべき玄米粒内部に、白濁した部分が生じて白く見えるものを総称して白未熟粒という。白く濁った部位により区別される(図Ⅱ-2-1)。

白未熟粒が白く濁って見えるのは、胚乳細胞内に蓄積したデンプン粒間に空隙があることにより光が乱反射するためである。

図Ⅱ-2-1　白未熟粒の外観と断面図(森田2008年)

②　乳白粒、背白粒、基部未熟粒の発生要因

白未熟粒の発生割合は、出穂後20日間の気温と相関が高く、コシヒカリでは26～27℃を上回ると発生割合が高くなる。

登熟中の玄米におけるデンプンの蓄積は、「中心部→腹側→背側→基部」の順序で進行する（図Ⅱ-2-2）。白未熟粒で濁りが生じた部位は、この玄米のデンプンの蓄積過程と関係がある。

乳白粒は登熟初～中期の段階で、背白粒や基部未熟粒は登熟中後期の段階でデンプンの蓄積が十分に行われなかった結果と考えられる。

乳白粒は、籾数が多い時に登熟初～中期のデンプン競合が原因で弱勢頴果で生じやすい。高温により頴果肥大速度が増加し、デンプンの供給が追いつかず、一時的局部的にデンプンが不足するために生じる。一方、日射量不足で同化産物が不足することでも生じる。コシヒカリでは総籾数30,000粒/㎡を上回ると発生率が高まる傾向が見られる。

背白粒、基部未熟粒は登熟中後期の高温でデンプン合成機能そのものが低下して生じ、籾数に関係なく強勢頴果、弱勢頴果の両方に発生する。デンプン合成に必要な窒素が不足したり、土壌水分不足でデンプンの転流が阻害されるといった登熟期の稲体の活力低下が要因となる。

図Ⅱ-2-2　籾内におけるデンプンの詰まり方のシミュレーション（星川（1972年）を改変）

(3) 胴割粒の発生要因

胴割粒は、登熟が進み籾含水率が低下して硬度の増した米粒が、気象条件等による吸水や放水のために内部水分分布の不均衡を生じ、米粒内での部位別膨縮差が大きくなることによって発生する。

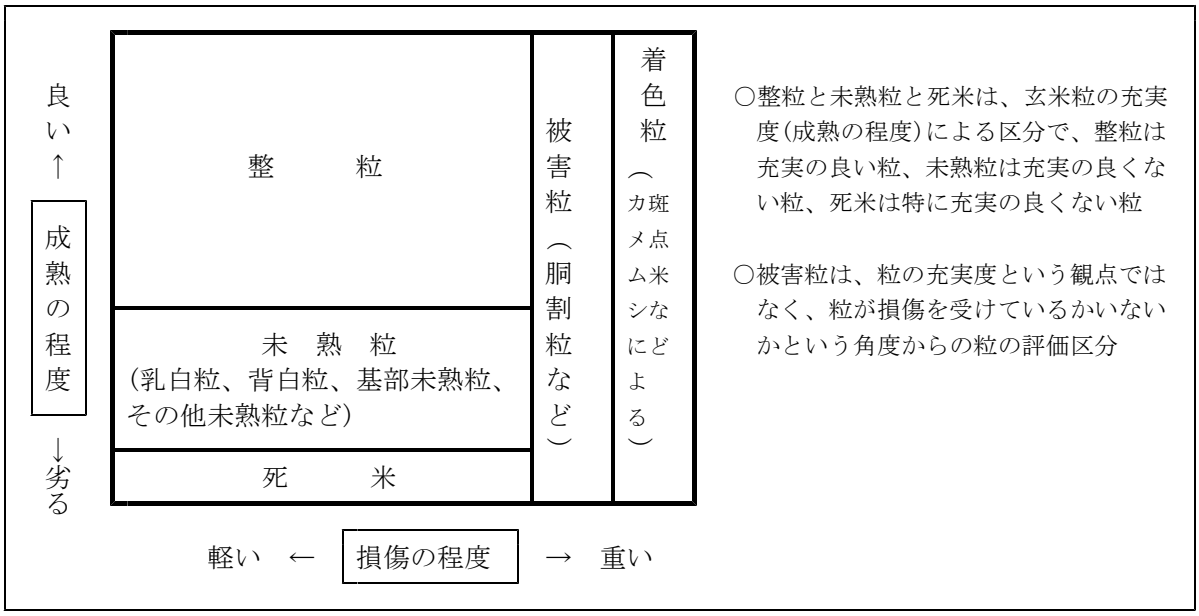
気象的には、登熟初期の高温多照条件で胴割粒が増加する。特に出穂後10日間の日最高気温との関連が強く、夏期高温年は胴割粒多発の危険性が高くなる（図Ⅱ-2-3）。登熟初期に高温となると胚乳中心部のデンプンのつまりが悪くなり、中心部がもろい内部構造になり、成熟した玄米が水分変化する場合に生じる内部の圧力ひずみに耐えにくい粒質になって、割れやすくなると考えられている。

栽培的には、早期落水、刈り遅れ、高水分籾の急激な乾燥、過乾燥で胴割粒が発生しやすくなる。また、登熟期の葉色の淡い場合や、玄米窒素濃度が低い場合にも胴割粒が多くなる。

図Ⅱ-2-3　出穂後10日間の平均日最高気温と胴割れ率との関係（東北農業研究センター2003年）

3　品質向上のための重点技術対策

品質を向上するためには、充実を良くして整粒を多くし、被害粒、着色粒を減らすことが重要である（図Ⅱ-3-1）。



図Ⅱ-3-1　玄米の区分(2009年近江米品質向上推進大会　全農滋賀資料を改変)

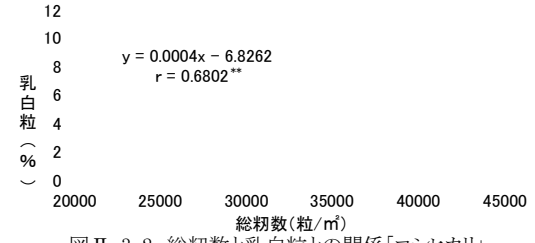
(1) 過剰な籾数の防止と登熟期の稲体の活力維持

① 施肥

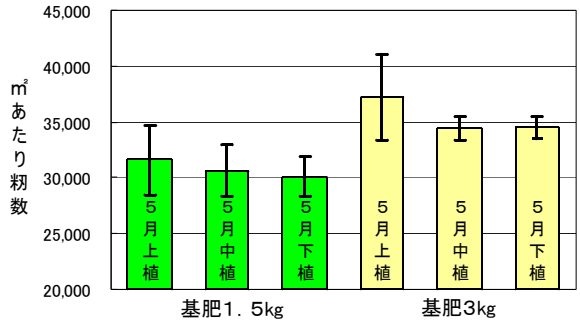
ア 基肥、追肥の減量

「コシヒカリ」では総籾数28,000～30,000粒/㎡を目標に栽培する。総籾数と幼穂形成期の窒素吸収量には高い相関があり、「コシヒカリ」では、総籾数28,000～30,000粒/㎡にするためには、幼穂形成期の窒素吸収量を４～５kgN/10aにする必要がある（図Ⅱ-3-2､3）。

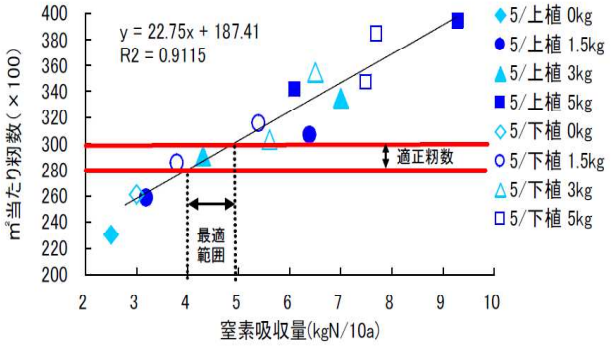
湖辺の粘質土壌等、地力の高い地域の「コシヒカリ」では、栄養生長期間の高温で地力窒素が有効化し、幼穂形成期の窒素吸収量が多くなり籾数過剰となりやすいため、基肥・追肥を減量する(図Ⅱ-3-4)。



図Ⅱ-3-2 総籾数と乳白粒との関係「コシヒカリ」
(滋賀農技セ2003～2004年)
注)乳白粒:S社RGQI10による測定結果、**:1%水準で有意



図Ⅱ-3-3 幼穂形成期の窒素吸収量と㎡あたり籾数の関係(2005～2006年滋賀農技セ)
注) 図注の凡例は移植時期と10aあたりの基肥窒素量を示す。



図Ⅱ-3-4 基肥、移植時期と総籾数の関係
(滋賀農技セ2005～2007年「ｺｼﾋｶﾘ」)
注) 基肥は緩効性肥料を全層で施用。追肥はなし

イ 生育に応じた穂肥

籾数過多、倒伏を防止するため、穂肥は幼穂を確認し、葉色、株張りに応じて施用する。また、高温時における登熟期の栄養不足を回避するため、必要量をきっちり施用する。ただし、多すぎると食味が低下するため注意する。

「コシヒカリ」、「秋の詩」では、２回均等分施で４kg(２kg×２回)を施用することを基本とする（表Ⅱ-3-1）。

表Ⅱ-3-1 「コシヒカリ」、「秋の詩」の穂肥施用基準（窒素成分kg/10a）

品種名	出穂２５日前	出穂１８日前	出穂１１日前
コシヒカリ		2	2
秋 の 詩	2	2	

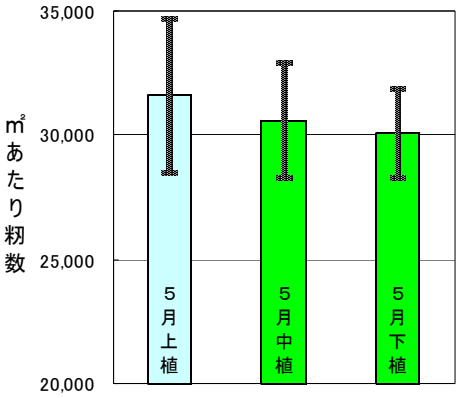
注）緩効性肥料の場合は、１回目に総量を施用する。

② 植え付け

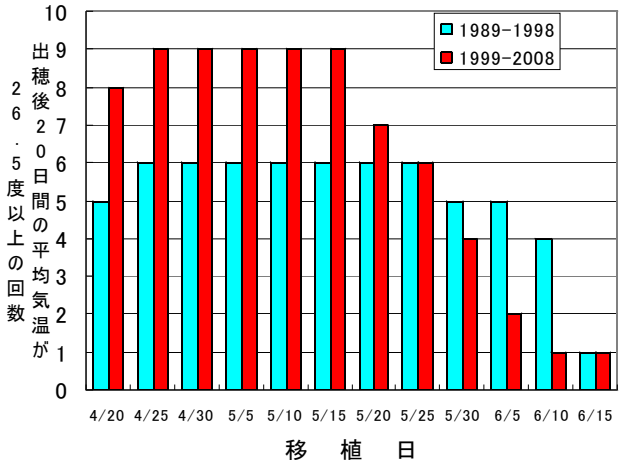
ア 遅植え

「コシヒカリ」では、５月上旬植えを行うと栄養生長期間の高温により生育量過多・過剰籾数となりやすいので、５月中下旬植えを行う（図Ⅱ-3-5）。

なお、５月中下旬植えを行っても出穂後の高温は回避できない年が多いため、施肥、水管理等の対策技術を組み合わせて実施する（図Ⅱ-3-6）。



図Ⅱ-3-5移植時期と総籾数の関係
（滋賀農技セ2005～2007年「ｺｼﾋｶﾘ」）

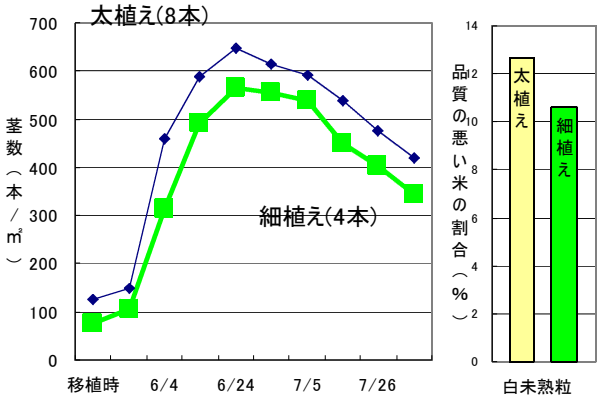


図Ⅱ-3-6 出穂後20日間の平均気温が26.5度以上となった回数(1989～2008の20年間:安土町大中「コシヒカリ」)
生育予測システムで予測した各年の移植日別の出穂日をもとに計算

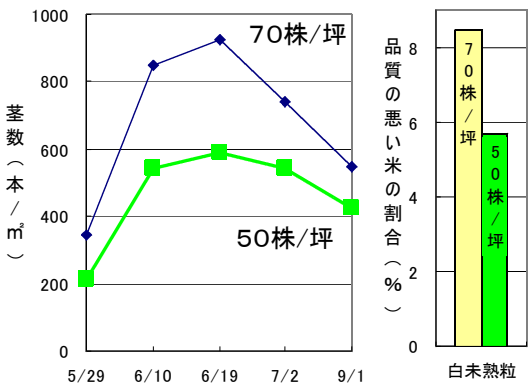
イ 細植え、疎植

１株あたりの植付本数は３～４本の細植えとし、栽植密度は湖辺で50～60株/坪、平坦部で60～70株/坪を目安に疎植とする。このことによって㎡あたり茎数を抑え、太い分げつ茎や稔実の良い穂を確保するとともに、生育後期の栄養状態を維持する。(図Ⅱ-3-7､8)。

栽植密度を低くした場合、初期生育が遅い地域や土壌では減収する場合があるので注意する。



図Ⅱ-3-7 植付け本数と茎数の推移､白未熟粒の関係
（滋賀農試湖北分場2004年「コシヒカリ」）



図Ⅱ-3-8 栽植密度と茎数の推移、白未熟粒の関係（滋賀農試2003年「コシヒカリ」）

③　水管理

ア　早めの溝切りと中干しの徹底

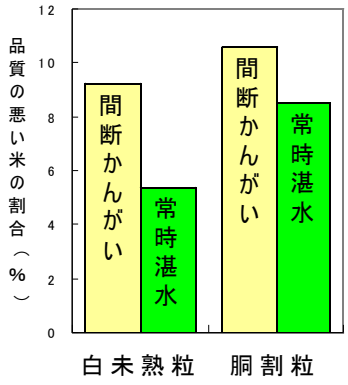
目標穂数の８割となったら遅れず中干しを行い、無効分げつの発生を抑制し、稲体の健全化を図るとともに、土を硬くすることで、収穫直前まで入水できるようにする。また、中干し後の水管理をしやすくするため、中干しに入る前には溝切りを行う。

イ　出穂前後各３週間の常時湛水

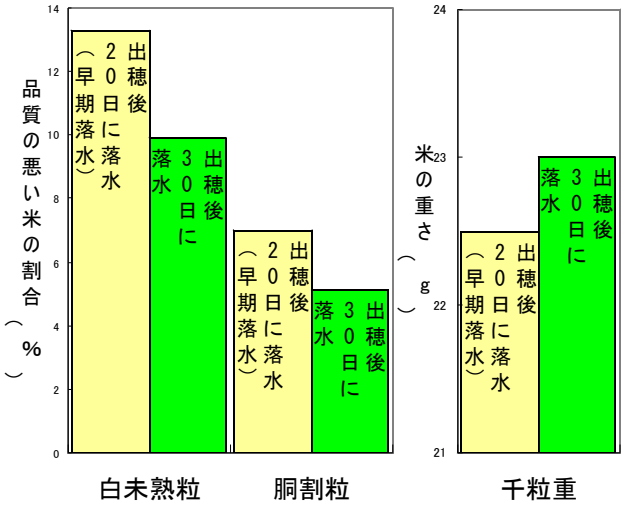
白未熟粒の発生防止や籾の充実をよくするため、稲が最も水分を必要とする出穂前後各３週間は水不足とならないよう常時湛水する（図Ⅱ-3-9）。

ウ　早期落水防止

登熟向上と立毛中の胴割れ防止のため、収穫５日前までは落水しない(図Ⅱ-3-10)。



図Ⅱ-3-9　出穂前後の水管理と白未熟粒、胴割粒との関係
(滋賀農技セ　2006年「コシヒカリ」)
注)出穂18日前から出穂20日後の水管理を変えている。出穂20日後以降は両区とも間断かんがい管理



図Ⅱ-3-10　落水時期と白未熟粒、胴割粒、千粒重(米の重さ)の関係（滋賀農試湖北分場2004年「コシヒカリ」）

④　土づくり

気候変動に対応する強い稲体づくりの基本となる土づくりを徹底する。

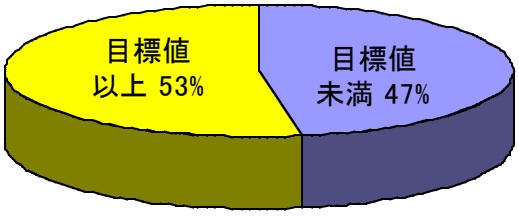
ア　土壌診断に基づく土づくり肥料施用、有機物施用

土壌診断に基づくアルカリ性資材、ケイ酸資材、リン酸資材の施用、堆肥・稲わら等の有機物の施用を行う。

イ　深耕

深耕を行うことで、根域を拡大してやると、下層に伸びる根の割合が増加する。これによって出穂～登熟期の窒素や水分の吸収が高まり、白未熟粒や胴割粒の発生が抑制される。

改良目標値に達しない割合は半分程度あり、作土深15cm以上となるよう深く耕す(図Ⅱ-3-11)。



図Ⅱ-3-11　滋賀県の土壌改良目標値(水田作土深15cm以上)に対する地点割合(滋賀農技セ　1999～2002年)

(2) 病害虫防除

① 発生予察に基づく防除

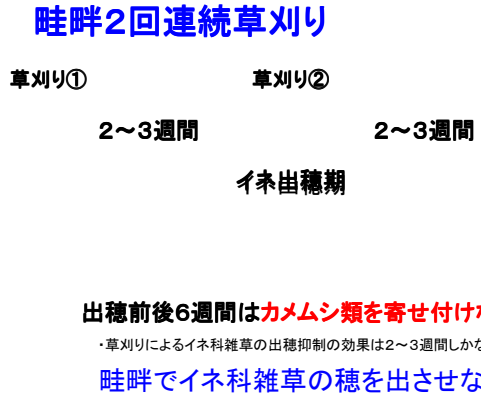
「穂いもち」や「紋枯病」等の病害虫が多発すると、登熟不良となり品質が低下するため、発生予察情報に基づき適期防除を行う。

② 斑点米カメムシ類の防除

等級低下に大きな影響を及ぼす斑点米カメムシ類の防除を行うため、「畦畔２回連続草刈り」および「適期カメムシ防除」を徹底する。

ア 畦畔２回連続草刈り

斑点米カメムシ類はイネ科雑草の穂を好み、畦畔にイネ科雑草があると畦畔で増殖して本田に侵入することから、出穂前後６週間は畦畔にカメムシ類を寄せ付けないために、出穂２～３週間前と出穂期の２回連続で畦畔の草刈りを行う。なお、イネ科雑草を刈り取って３週間後には再びイネ科雑草が出穂するため、草刈りの間隔を３週間以上はあけない(図Ⅱ-3-12)。



図Ⅱ-3-12 畦畔２回連続草刈り(出穂2～3週間前と出穂期の２回連続)の模式図

イ 適期カメムシ防除

品種別に適期にカメムシ防除を行う。特に中生品種にカメムシ類の被害が多い地域では、中生品種に合わせた防除を行う。やむを得ず早生品種と同時に防除を実施する場合は、中生品種の畦畔２回連続草刈りを徹底する。

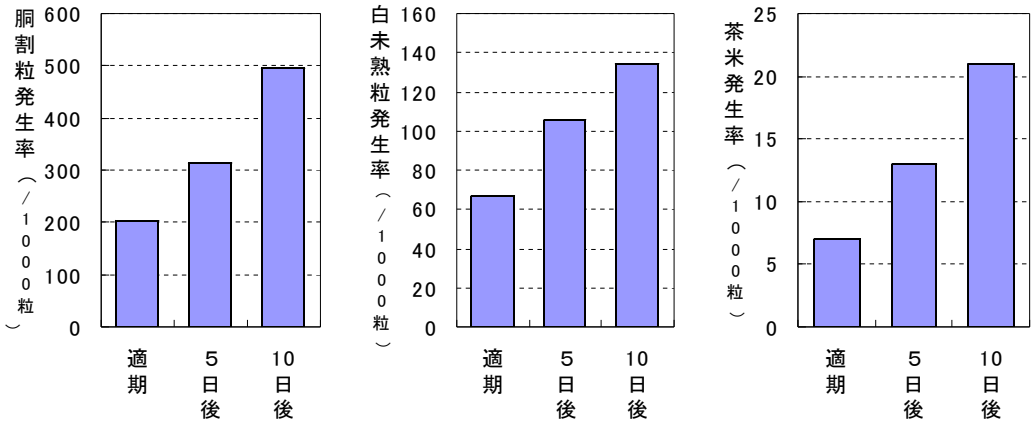
(3) 収穫・乾燥・調製

収穫・乾燥・調製作業については、品質を向上させるために、以下の①～③に留意する。

また、カントリーエレベータ等の共同乾燥施設の運営にあたっては、施設能力を考慮して作期調整や地区割りを行うなど、計画的かつ効率的な運営に努める。また、荷受け前の品質チェックを徹底し、斑点米や発芽粒、高水分籾など品質不良籾の混入防止に努める。

① 適期収穫

刈り遅れると胴割粒、白未熟粒、茶米が増加するため、計画的に適期に刈り取りを行う(図Ⅱ-3-13)。近年、出穂後の気温が高く、登熟日数が短くなる傾向があるため、特に高温年には刈り遅れに注意する。



図Ⅱ-3-13 刈り遅れと品質の関係 （品種「コシヒカリ」 滋賀農技セ2008年）
胴割粒は検査等級に影響しない軽微なものを含む。白未熟粒は穀粒判別機による乳白、基部未熟、腹白の合計。
茶米は薄茶米を含む。

② 適正な乾燥

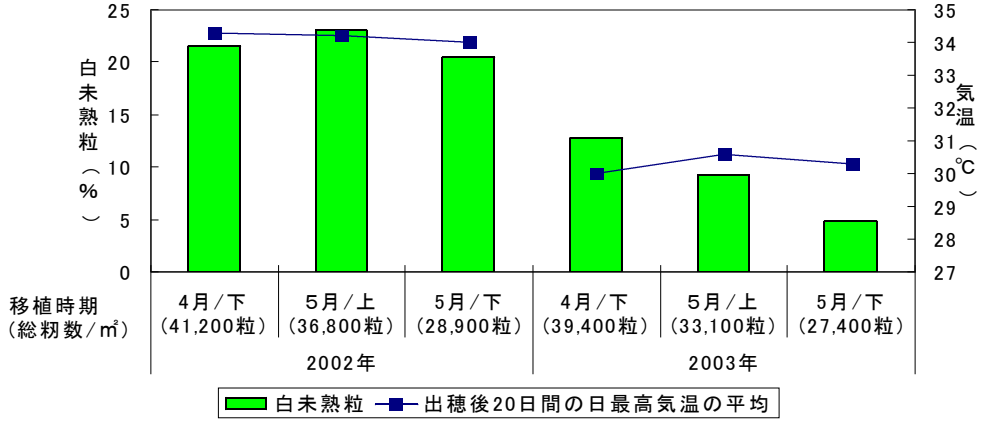
乾燥能力に見合った刈り取りを行い、刈取後は速やかに乾燥処理を行う。胴割れ防止のため高水分籾の急激な乾燥は行わない。過乾燥は胴割粒の増加、食味の低下につながるため、仕上げ水分は15%となるよう調整する。

③ 粒厚選別（網目1.85～1.9㎜以上）

整粒歩合を向上させるため、調製の網目を1.85～1.9㎜以上とする。

(4)地域の条件に応じた品種の作付け

地域の気象・土壌条件および需要に応じた品種の作付けを基本とする。「キヌヒカリ」は出穂後の高温で白未熟粒が発生しやすく(図Ⅱ-3-14)、1等米比率が低いため、「キヌヒカリ」の品質が毎年良くない地域では、「秋の詩」、「レーク６５」等へ品種転換を行う。



図Ⅱ-3-14 「キヌヒカリ」における移植時期と総籾数、白未熟粒、出穂後20日間の日最高気温の平均との関係 （滋賀農試2002～2003年）