

# 土地改良事業計画設計基準

第 2 部 計 画  
第 1 編 カ ン ガ イ  
第 5 章 水 温 水 質

農 林 省 農 地 局

昭和 42 年 11 月 改 定

農林省農地局

# 土地改良事業計画設計基準

昭和42年11月改定

第2部 計 画

第1編 カンガイ

第5章 水温水質



42 農地 C 第 495 号  
昭和 42 年 11 月 20 日

地方農政局長 殿  
北海道開発局長 殿

農林省農地局長

土地改良事業計画設計基準「第2部計画」  
の一部改定について

このことについて、別冊のとおりこれを改定したので今後土地改良事業の計画樹立に際しては、この基準に準拠して施行するよう指導されたい。

## は し が き

土地改良事業計画設計基準第2部計画第1編カンガイは、昭和29年に制定されたものである。農地局においては基準制定後も技術の進歩に伴って生ずる計画上の問題点をはあくし、基準改定の基礎資料とするために各分野において計画基準作成の調査を実施している。この調査は第2部計画の全般におよぶものであるが、必要性が高く、技術上未解決な点の多いもの、技術の進歩の著しいもの等より順次改定していくため、調査項目を選んで調査してきたものである。

カンガイ編第5章水温・水質のうち水温は、その調査項目の一つであり、水稲作について水温の与える影響は非常に大きな問題を含んでおり、カンガイ用水となる河川、湖沼の水温の問題、水温上昇の機構、水温上昇施設、貯水池の水温と取水施設の水理の理論解析等、水稲作と水温に関する広範囲な技術上の問題について、今回豊富な試験、研究、実績等の成果をとりまとめ、これらの結果をくわしく解説し、今後の土地改良事業の技術上の指針とするために改訂することにしたものである。

この改定作業は計画基準改定委員会水温部会（農業土木学会に組織）を中心に技術上の問題を検討し、今回その作業を終了、ここに改訂するものである。水温部会のメンバーはつぎのとおりである。

委員長	高月豊一	委員	松島省三
委員	新井正	〃	三原義秋
〃	内島善兵衛	幹事	今岡浩
〃	佐藤守孝	〃	川又政圀
〃	島津義満	〃	桑原英夫
〃	千葉豪	〃	後藤幸男
〃	西沢利栄	〃	佐々木欣一
〃	野口正三	〃	武田健策

(五十音順・敬称略)

主な改訂内容は、つぎのようなものである。

### 1. 稲の生育各期と水温の関係

稲の生育に最適な水温についての研究成果より、生育各期の最適昼温、最適夜温の存在や、冷水被害の著しい時期およびそれに対する対策等について基礎的な概要がのべられている。

### 2. 河川の水温、湖沼および貯水池の水温について

河川の流下距離と水温の変化、河川の水温の地理的分布、年変化の分析、湖沼、

貯水池の流域・形状と水温の関係，および貯水池水温の垂直分布，時期別変化等の解析をのせている。

### 3. 水田の水温と土地改良および営農上の留意事項について

冷害の受けやすい地域の水温対策としての用水管理の必要性を強調している。

### 4. 水温上昇の機構を明らかにしたこと

### 5. 温水取水の理論に取水施設計画の問題点について

温水取水の理論解析をのべており，取水施設の特徴と施設の水利特性を詳述している。

これらの基準の基礎となる理論およびその応用は，非常な進歩をとげる可能性を含んでおり，今後共調査，試験研究による技術の開発により，本基準は書き改めらなければならない。

なお，本基準はカンガイ編第5章の部分改訂であり，第5章はつぎのようになる。

5. 1 水温
5. 2 水温対策
5. 3 水温上昇機構
5. 4 水温上昇施設
5. 5 温水取水施設
5. 6 水温上昇の効果
5. 7 水質（現在 5.5 変更なし）
5. 8 有害物質の処理（現在 5.5 変更なし）

# 目 次

第5章 水温水質 .....	1
5.1 水 温 .....	1
5.1.1 稲作と水温 .....	1
5.1.2 河川水温 .....	5
5.1.3 湖沼および貯水池の水温 .....	10
5.1.4 地下水の水温 .....	13
5.1.5 水田内の水温 .....	15
5.2 水温対策 .....	18
5.2.1 概 説 .....	18
5.2.2 水源から水田水口までの間における対策 .....	19
5.2.3 水田内における対策 .....	20
5.3 水温上昇機構 .....	21
5.3.1 浅い池の水温の成立機構 .....	21
5.3.2 温水池(路)における水温の上昇 .....	25
5.3.3 水温計算に必要な各項の求め方 .....	26
5.3.4 平衡水温と温度上昇率の計算 .....	32
5.4 水温上昇施設 .....	37
5.4.1 計画上の基礎条件 .....	37
5.4.2 水温上昇施設の種類 .....	37
5.4.3 水温上昇施設の熱効率と構造 .....	39
5.4.4 水温の日変化と構造 .....	42
5.5 温水取水施設 .....	44
5.5.1 温水取水の理論 .....	44
5.5.2 温水取水施設 .....	45
5.5.3 温水取水施設の試験成績 .....	52
5.6 水温上昇の効果 .....	55
5.6.1 低水温の影響 .....	55
5.6.2 冷水カンガイによる稲の減収 .....	56
5.6.3 連続カンガイ田における用水昇温の増収効果 .....	58

## 第5章 水温水質

### 5.1 水 温

#### 5.1.1 稲作と水温

稲の生育・収量が水温に大きく左右され、おおよそ 30～32°C が適温であることは古くから知られている。しかし、これは稲の一生を通じ、昼夜の水温を一定に保った場合にいえることであり、水温の影響を稲の生育時期や昼夜にわけてみた場合には、危険水温とみられる高水温 (35°C 以上) や低水温 (20～15°C) が、生育時期や昼夜の別によっては、全く害を与えないばかりか、かえって好影響さえ与える場合もある。

まず、基礎的知識として、稲の発育に対する最低・最適・最高温度について、その概要を知る必要がある。

#### 1. 稲の発育に対する最低・最適・最高温度

いままでにわが国で稲の発育と温度との関係を調査した業績から、最低温度・最適温度・最高温度をあげてみると、おおよそ次のようである。

表—5.1 稲の発育に対する最低・最適・最高温度

調 査 項 目	最低温度 °C	最適温度 °C	最高温度 °C
発 芽	10 ～ 13	30 ～ 34	40 ～ 44
苗 の 生 長	—	32	—
苗根毛原形質流動	0 ～ 10	33	40 ～ 45
葉 縦 生 長	7 ～ 8	31	45
草 タ ケ 伸 長	15 ～ 16	30 ～ 32	40
分 ケ ツ 増 加	14	28 ～ 34	40
総 重 量	13 ～ 14	30 ～ 34	40
幼 穂 分 化	15		40
出 穂	17 ～ 20		
開 花	15 ～ 19	28 ～ 40	50 ～ 60

また、稲苗の致死温度を実験した報告によれば、高温では 43°C で 20～30 min, 49°C で 1 min で死ぬのに対し、低温では最低が -0.8～1.6°C では 0°C 以下の持続期間が 2 hr で地下部は死ぬが、最低が -2°C に達すると 0°C 以下が 12min 続けば地下部は死ぬという。このように、致死温度は高水温の被害と同様に、処理される温度とその持続期間とによって左右されるので、つねにこの両者を考慮に入れなければならない。

## 2. 生育各期の水温とその日較差の影響

水稻の生育・収量と気温とその日較差の間には、きわめて明瞭な関係があり、生育の各期に最適昼温および最適夜温のあることが明らかになった。しかし、水温については、気温ほど明確に生育各期の最適昼温および最適夜温の関係は認められない。概していえば、活着期と分ケツ期を除けば、昼温は30~35°C 夜温は25~30°C 程度の水温が全生育期間にわたって生育収量に最もよい影響を与える。

活着期においては、日較差の大小に影響されることなく、昼夜平均水温が35°C まで高いほど活着がよく、危険水温とみられる昼間40°C、夜間25~35°Cで収量も最も高い。分ケツ期については、農業技術研究所鴻巣における実験によれば、この期間1カ月間の温度処理をすると、昼夜とも30°Cで最高の収量を示すが昼夜とも20°Cでも最高と大差のない収量がえられる。しかし、分ケツ期間を15日間ずつに二分して、分ケツ初期と分ケツ盛期にわけて温度処理すると、分ケツ初期は昼温20~25°C、夜温20~15°Cのような低温が最もよく、分ケツ盛期には昼温30°C、夜温30~25°Cのような比較的高い温度が最高の収量を示す。このように分ケツ初期には、一時的の低水温、とくに夜間の低水温が初期分ケツの発生を促して、好影響を与えることが多い点は注目されねばならない。近年早期または早植栽培で、穂数の増加が増収の主要因となっていることが多いが、この場合には、分ケツ期の夜間の低水温が有利に働いていると考えられる。幼穂分化が始まってから出穂直前までは、昼温30~35°C、夜温25~35°Cのような高温が成績がよい。

これに反して、低水温の悪影響が最も顕著に現われるのもこの時期であり、とくに幼穂形成期の昼間の低水温(20°C以下)で被害が著しい。そして、出穂直前(5日前)から以降の時期では、水温の影響はほとんど現われないのが一般である。すなわち、水温に対する配慮は出穂期まででほぼじゅうぶんである。

表—5.2に、生育各期に昼夜各種の異なった水温を与え、15日間処理した場合と、30日間処理した場合について、収量が最大となり、出穂期が最も早まった昼水温および夜水温の組み合わせを示した。収量の欄の温度を生育各期のほぼ最適水温とみてよからう。

## 3. 高水温および低水温被害\*

適温を離れるにしたがって、生育および収量に悪影響が現われるが、この高低両水温の被害について若干の調査結果を示そう。

- (1) 低水温被害および高水温被害の現われ始める水温 低水温および高水温の被害の現われ始める温度については、従来の実験の結果は必ずしも一致しているとはいえない。被害の出現は品種の抵抗性の強弱、土壌の状態および施肥方法の相違、稲の健康度の良否、温度処理期間の長短、温度処理当時の気温の高低、生育時期の相違などによって、かなり異なるからである。しかし、概していえば、低水温による有意的被害の現われる

\* 詳細については、角田公正「水温と稲の生育収量との関係に関する実験的研究」(農技研報告A11)1963年3月参照のこと。



表-5.2 生育各期における収量および出穂期に対する適水温(C°)

項目		収量を大とする適温		出穂期を早める適温	
生育時期					
活 着 期		昼 40 夜 25 ~ 35		昼夜平均 30	
分 ケ ッ 期	分ケッ 初 期	昼 20 ~ 30  夜 15 ~ 30	昼 20 ~ 25 夜 15 ~ 20	昼夜平均 30	昼夜平均 30
	分ケッ 盛 期		昼 30 夜 25 ~ 30		昼夜平均 30
幼穂 発 育 期	幼穂 形 成 期	昼 30 ~ 35  夜 25 ~ 30	昼 30 ~ 35 夜 25 ~ 30	昼夜平均 30	昼夜平均 30
	穂バラミ期		昼 30 ~ 35 夜 25 ~ 30		昼夜平均 30

注：分ケッ期と幼穂発育期はともに30日間，その他の期間はすべて15日間処理。

温度は25~21°C以下で，一般には23°C以下とみて大過がなく，高水温による被害の現われる温度は35~38°C以上で，一般には36°C以上とみて著しい不都合はなかろう。

(2) 冷水被害と冷水カンガイ日数， 1日中の冷水カンガイ時間数および時刻との関係  
最も冷水被害の現われやすいといわれてきた減数分裂期（穂バラミ期）を対象として，15°Cの水を用い，2日間から12日間まで2日おきに6区の試験区を設けて実験した結果，8日以上冷水下においた場合のみ悪影響が認められた。減収の原因は1穂モミ数の減少であった（この際の気温は外気温であって，じゅうぶん高い温度であった。）

つぎに，1日中の冷水カンガイ時間数およびカンガイ時刻と被害の程度との関係を実験した結果，カンガイ時間数よりむしろカンガイ時刻が被害に深い関係のあることがわかった。すなわち，冷水の被害は昼夜によって著しく異なり，昼間は夜間に比べて，はるかに深刻である。さらに，同じ昼間でも被害は時間数によって異なるばかりでなく，時刻によっても明らかに異なり，14時ころを中心とした時刻に最も深刻で，14時を前後するにしたがって軽減し，特に早朝に最も軽微となる。時刻によって被害程度に差の生まれる理由の一つは，一般の水田の水温が時刻によって異なり，14時を中心とした時刻に最も高まり，これを前後するに従って低下し，特に早朝に最も低下することが一原因と考えられる。したがって，冷水地帯では1日の平均水温をできるだけ高めるようなカン水法を採用する必要がある，このためには冷水をかける時間をなるべく少なくすることと，カン水はできるだけ夜間に行ない，昼間は止水状態とすることが望ましい。やむ

を得ず昼間にカン水するときには、カン水時の水田水温が低く、カン水後の水温上昇が著しい朝に行なうのが有利であろう。

(3) 高水温および低水温による被害の現われやすい時期 一般に稲の植物生理上から見ると、低温または高温に最も害されやすい生育時期は幼穂形成期よりむしろ減数分裂期であるはずであるが、農業技術研究所などの実験研究結果からして、高、低両水温ともその被害は幼穂形成期に著しく、減数分裂期(穂パラミ期)に軽微であることが確認された。またこれに関連して従来主要文献を再吟味した結果、出穂前日数による減数分裂期の推定方法にも誤りがあることもわかり、結局水温による実際の被害のはなはだしい時期は減数分裂期より幼穂形成期であることが推定され、その原因としては後述のように幼穂が水中にあるか否かによるものと考えられる。

(4) 水深の違いによる高低水温の被害差 以上の推定を実証するために、農業技術研究所松島研究室においては幼穂形成期および減数分裂期の両時期にそれぞれ15日間、異なった水深(2, 5, 10および20cm)で、高水温(40°Cまたは37°C)または低水温(15°C)で生育させ、被害の程度および幼穂と水面との関係位置を調査した。この結果、幼穂形成期の処理では、水深の違いによる影響はほとんどないのに対し、減数分裂期の処理では、明らかに水深による影響の差が現われ、水深の深いほど被害が増大し、水深は10cm以上では収量は皆無に近い。幼穂と水面との関係位置を調査した結果、水深2cmでは全幼穂の77%がすでに水面上に抽出しているのに対し、水深5cmでは23%のみが水面上に抽出し、さらに水深10cm以上の場合には全幼穂が水面下にあることが明らかとなり、減収の程度と水深の関係によく一致していることがわかった。もっとも、この実験は気温が高く、低気温による障害の起こらない条件下で行なわれたものであり、北海道の冷害年のように気温が水温より低く、しかも被害を与えるほど低い気温の場合には、逆に水深を深くして、幼穂を水でおおっておくほうが安全なことはいうまでもない。

(5) 冷水対策としての無タン水栽培の効果 以上の諸実験の結果から、当然考えられることは、危険な生育時期に、水深を極度に浅くすることによって、低水温または高水温の被害を軽減しうる道があるのではなからうかということであった。すなわち、低水温対策としては、水温より気温の高い場合、高水温対策としては、水温が気温より高い場合には、極端な浅水が必ず被害防止上に効果があると考えられるからである。

そこで、3カ年にわたって、一方では鴻巣でポット試験により、他方では冷水地帯の長野県駒ヶ根市の農家の水田(海拔800m、水口水温盛夏に13~15°C)を用い、土壤水分をほぼ一定(TensiometerでpF 2.00)以下に低下させないような無タン水処理を行ない、稲の生育収量にどのような影響を及ぼすかを調査した。

この結果、生育各期(分ケツ期、幼穂発育期および登熟期)を単独に対象とした短期無タン水栽培の場合はもちろん、各時期を通じた長期無タン水栽培の場合も、活着期さえタン水条件下におけば冷水被害を著しく軽減し、冷水対策上最も有効な手段の一つで