

夜間の短時間変温管理が輪ギクの到花日数及びエネルギー消費量 に及ぼす影響

平松裕邦¹⁾・植村真也¹⁾・石原元浩¹⁾・渡邊孝政²⁾・新井和俊³⁾・二村幹雄⁴⁾

摘要：本研究では輪ギクの周年安定生産技術の確立に向け、夜間の短時間変温管理方法を検討した。夏秋系輪ギク「精の一世」(9月開花)における夜間冷房の時間帯(終夜冷房、EOD冷房、EON冷房)を検討したところ、EON冷房が最も到花日数が少なく、温度及び時間帯は、21°C・2:00~6:00が適当であった。この場合のエネルギー消費量は終夜冷房の約32%となった。秋系輪ギク「神馬」(1月開花)における夜温の管理方法では、花芽分化期の温度管理をEOD-heating(18:00~22:00:20°C、22:00~6:00:12°C)とすることで、慣行栽培と到花日数及び切り花品質が同等で、エネルギー消費量は慣行栽培の約67%となった。

キーワード：キク、「精の一世」、「神馬」、EON冷房、EOD-heating

Effects of Short-time Temperature Control at Night on the Number of Flowering Days and Energy Consumption in Chrysanthemum

HIRAMATSU Hirokuni, UEMURA Shinya, ISHIHARA Motohiro, WATANABE Takamasa, ARAI Kazutoshi and NIMURA Mikio

Abstract : We investigated the short-time temperature control at night for year-round stable production in chrysanthemum. Our study was conducted in September, which is the hottest month, and January, which is a severely cold month. We investigated the time zone of night cooling in the summer-autumn-flowering single-type chrysanthemum 'Sei no issei.' Our study showed that the end-of-night (EON) cooling resulted in the least number of flowering days compared to the end-of-day (EOD) cooling, all-night cooling, and non-night cooling methods. We investigated whether the number of flowering days obtained with EON cooling (21°C, 2:00-6:00) was appropriate for setting the temperature and time zone of night cooling in 'Sei no issei.' In this case, the energy consumption of EON cooling was approximately 32% of the total energy consumed in night cooling. We investigated the thermal management of night during the floral initiation stage in the autumn-flowering single-type chrysanthemum 'Jimba.' The study showed that EOD-heating yielded an equivalent flowering period and quality of cut flowers. The energy consumption of EOD-heating (18:00-22:00 at 20°C; 22:00-6:00 at 12°C) was approximately 67% of the energy consumed in general thermal management (constant control of 17°C) of night.

Key Words : Chrysanthemum, 'Sei no Issei', 'Jimba', EON cooling, EOD-heating

本研究の一部は平成30年度園芸学会東海支部大会(2019年9月)において発表した。

本研究は生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」(短時間変温管理に基づく主要花き類の周年安定生産技術の開発)の支援を受けて実施した。

¹⁾東三河農業研究所 ²⁾東三河農業研究所(現東三河農林水産事務所) ³⁾東三河農業研究所(現山間農業研究所) ⁴⁾東三河農業研究所(現園芸研究部) (2020.9.9受理)

緒言

現在、輪ギクは施設での周年栽培が行われており、夏季の高温対策、冬季暖房の省エネルギー対策が生産性向上及びコスト削減のための大きな課題となっている。夏季作型では暑さに比較的強い夏秋系品種が栽培されているが、近年、高温による開花遅延や奇形花の発生が問題となっている。これまでに、「岩の白扇」や「精雲」では昼夜を通した高温遭遇によって、開花遅延や奇形花の発生が増加することが明らかになっており^{1)、2)}、近年では高温対策のひとつとして、ヒートポンプエアコンの使用が挙げられる。生産現場では、コスト面からヒートポンプエアコンの稼働を夜間のみとしているものの、さらなる低コスト化が望まれている。

現在の夏秋ギクの主力品種「精の一世」においては、ヒートポンプエアコンを用いた夜間冷房による奇形花の発生抑制に関する研究はあるが³⁾、開花遅延に対する検討は十分とはいえない。また、暗期を半分に区切り、全夜間冷房(18:00～6:00)と前夜半(18:00～0:00)を比較した報告³⁾はあるが、より短い時間帯での夜間冷房の知見はほとんどない。

また、冬季作型における夜間の温度管理は、終夜一定の温度まで加温することから、厳寒期には外気温より15℃以上高い温度まで暖房することもある。このため、生産現場において、燃油価格高騰時には、暖房機の設定温度を低めにし、暖房コスト削減を図ることがある。しかし、加温が不十分な場合には輪ギクの生育に不適な低温となり、開花遅延や切り花品質の低下につながる。

これまで、暖房コスト削減を目的とした変温管理技術については、スプレーギクなどで試験^{4)、5)}が行われているが、輪ギクにおける知見は少ない。

そこで、輪ギクの周年生産において、より低コストで効果的な夏季及び冬季の温度管理技術について検討したので報告する。

材料及び方法

試験はガラス温室内にチャンバー(床面積:約14.4 m²、容積:約56.9 m³)を設置し、チャンバーには、床置型ヒートポンプエアコン(能力:暖房時3.6 kW、冷房時2.8 kW、MFZ-K2817AS-W、三菱電機(株)、東京)を設置した。ガラス温室は常時25℃設定で換気し、冷房及び暖房を行う時間帯以外はチャンバーのサイドフィルムを巻き上げた。

試験は高温期の夜間冷房に関する2試験、厳寒期のEOD-heatingに関する1試験の3試験とし、各試験の栽培概要は表1に示した。共通する栽培方法は株間12 cm、条間12 cm、6条植えの地床の無摘心栽培とした。また、日長操作や保温のため、ガラス温室のシェードカーテンの開閉を行い、栄養成長期間は暗期中断(22:00～2:00)を行った。試験1、2では全生育期間を12時間日長(シェード:18:00

～6:00)とし、試験3では全生育期間を11時間30分日長(シェード:16:30～6:30、蛍光灯による日長延長:16:30～18:00)とした。

調査項目は、チャンバー内気温、到花日数、90 cm調整重(90 cmの長さに調整し、下葉を20 cm脱葉した切り花重)、ヒートポンプエアコンのエネルギー消費量とした。エネルギー消費量は試験1、2では各チャンバーのヒートポンプエアコンに接続した簡易電力計(単相2線 200 V用エコキーパー EC-200、(株)カスタム、東京)の実測値、試験3では暖房負荷による試算とした。暖房負荷については、消灯日から発蕾日の夜間(18:00～6:00)における時間帯毎のチャンバー内の実温と外気温の差から試算した。

1 高温期の夜間冷房について

試験1 高温期の短時間夜間冷房の時間帯が生育・開花に及ぼす影響

供試品種は「精の一世」を用いた。試験区は夜間冷房の時間帯により、①全夜間冷房(18:00～6:00)区、②EOD冷房(18:00～22:00)区、③EON冷房(2:00～6:00)区、④無冷房区の4区設けた。夜間冷房温度は、21℃設定とし、定植1週間後(2018年6月25日)から開花までの期間行った。無冷房区の夜温は成り行きとした。

試験規模は各区60株で、反復なしとした。

試験2 高温期のEON冷房処理の温度及び時間帯が生育・開花に及ぼす影響

供試品種は「精の一世」を用いた。試験区はEON冷房処理の温度及び時間帯を組み合わせ、①21℃・2:00～6:00区、②23℃・2:00～6:00区、③23℃・0:00～6:00区、④無冷房区の4区を設けた。EON冷房処理は、定植2週間後(2019年7月1日)から開花までの期間行った。無冷房区の夜温は成り行きとした。

試験規模は各区60株で、反復なしとした。

2 厳寒期のEOD-heating方法について

試験3 秋系輪ギクの花芽分化期におけるEOD-heating処理が生育・開花に及ぼす影響

供試品種は「神馬」を用いた。試験区は花芽分化期におけるEOD-heatingの時間帯ごとの設定温度(18:00～22:00-22:00～6:00)により、①20-12℃区、②17-14℃区、③17℃一定区(慣行)の3区設けた。EOD-heating処理は、消灯日(2019年12月12日)から発蕾日(2020年1月7日)まで行った。

花芽分化期の温度管理方法は、ガラス温室の暖房温度を12℃設定とし、①20-12℃区では18:00～22:00をヒート

表1 各試験の栽培概要

試験番号	挿し芽日	定植日	消灯日
試験1	2018年6月4日	6月18日	8月2日
試験2	2019年6月4日	6月17日	7月31日
試験3	2019年10月15日	10月29日	12月12日

ポンプエアコンで20℃に設定した。また、②17-14℃区では18:00～22:00をヒートポンプエアコンで17℃に設定し、22:00～6:00を小型温風暖房機(SF-1016A 単相100V、相和工業(株)、東京)で14℃に設定した。③17℃一定区は18:00～6:00をヒートポンプエアコンで17℃に設定した。

花芽分化期以外のガラス温室の温度設定は、定植(2019年10月29日)から定植3日後(2019年11月1日)までは無加温、定植3日後から消灯日までは15℃一定、発蕾日(2020年1月7日)から試験終了(2020年2月7日)は14℃一定とした。

試験規模は各区42株で、反復なしとした。

試験結果

1 高温期の夜間冷房について

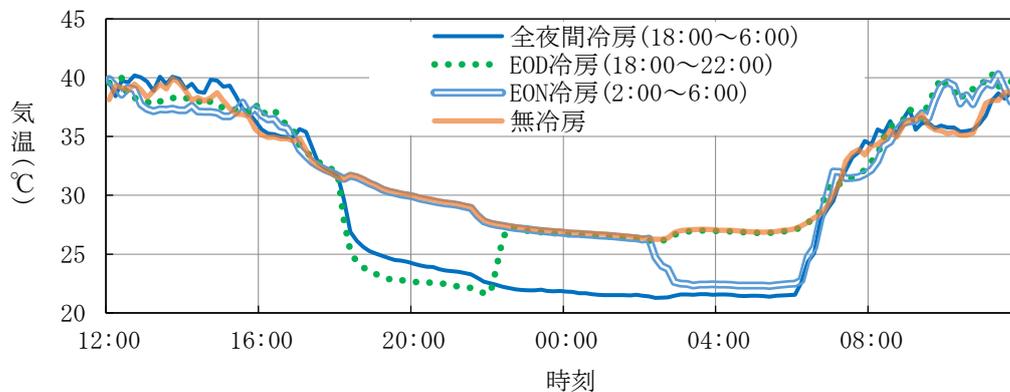


図1 各試験区の平均室内気温(試験1)
(2018年7月26日～8月9日の時刻ごとの平均)

表2 夜間冷房の時間帯と開花及び切り花品質(試験1)

試験区	到花日数	90 cm調整重 (g)	開花率(%) ¹⁾
①全夜間冷房(18:00～6:00)	63.7 b	74.6 a	100
②EOD冷房(18:00～22:00)	69.4 a	71.2 a	47
③EON冷房(2:00～6:00)	59.1 c	73.6 a	100
④無冷房	64.6 b	86.0 a	100

注) 同列の異符号間には Tukey の HSD 検定により 5%水準の有意差があることを示す。

1) 消灯後 72 日目。

表3 夜間冷房の時間帯別消費電力量(試験1)

試験区	消費電力量 ¹⁾ (kWh)	相対値(%)
①全夜間冷房(18:00～6:00)	475	100
②EOD冷房(18:00～22:00)	212	44.6
③EON冷房(2:00～6:00)	152	32.0

1) 2018年7月11日～9月26日(77日間)の小型チャンバーでの実測値。

試験1 高温期の短時間夜間冷房の時間帯が生育・開花に及ぼす影響

無冷房区の夜間(18:00～6:00)の気温は、27～30℃で推移した。これに対し、夜間冷房を行った区の冷房処理時間帯中の気温は、設定温度(21℃)よりやや高いものの、18:00～22:00で23～24℃程度、それ以降は約22℃で推移し、無冷房区より低い温度を維持した(図1)。

到花日数は無冷房区の約65日と比較して、EON冷房区が約59日と最も少なくなった。また、EOD冷房区は、無冷房区より開花が遅れ、調査終了時点(消灯後72日目)の開花率も、他の区が100%であったのに対し、47%となった。90 cm調整重は処理区間に有意差は認められなかった(表2)。夜間冷房の消費電力量は全夜間冷房区を100%とすると、EOD冷房区で44.6%、EON冷房区で32.0%となった(表3)。

試験 2 短時間夜間冷房の方法が生育・開花に及ぼす影響

試験区の夜間の気温は概ね設定どおりの推移となった(図 2)。到花日数は、無冷房区の約 63 日と比較して、23℃設定では処理時間に関わらず、約 58~59 日、21℃・2:00~6:00 区ではさらに少ない約 56 日となった。90 cm 調整重は 23℃・2:00~6:00 区で他の区よりやや軽かったものの、処理区間に有意差は認められなかった(表 4)。消費電力量は 23℃・0:00~6:00 区を 100%とすると、21℃・2:00~6:00 区で 99.5%、23℃・2:00~6:00 区で 82.5%となった(表 5)。

2 厳寒期の EOD-heating 方法について

試験 3 秋系輪ギクの花芽分化期における EOD-heating 処理が生育・開花に及ぼす影響

試験区の夜間の気温は処理区の設定温度よりやや高めであったが、概ね設定どおりとなった(図 3)。到花日数は 17℃一定区と 20-12℃区は同等で、17-14℃区では 20-

12℃区より有意に多くなった。90 cm 調整重は 17-14℃区で他の区より軽かったものの、処理区間に有意差は認められなかった(表 6)。1 作あたりのエネルギー消費量(暖房負荷)は 17℃一定区と比較して、EOD-heating 処理によって少なくなり、17℃一定区を 100%とすると、20-12℃区では 67.3%、17-14℃区では 66.4%となった(表 7)。

考察

1 高温期の夜間冷房について

「精の一世」における夜間冷房の影響について、野村ら³⁾は、無冷房よりも、夜間冷房の到花日数が少なくなったこと、消費電力量は全夜間冷房と比較し、前夜半冷房で約 67%となったことを報告している。

夜間冷房の時間帯について検討した試験 1 では、到花日数は後夜半に冷房する EON 冷房区が最も少なく、全夜間冷房区と無冷房区がほぼ同等で、前夜半に冷房する EOD 冷房

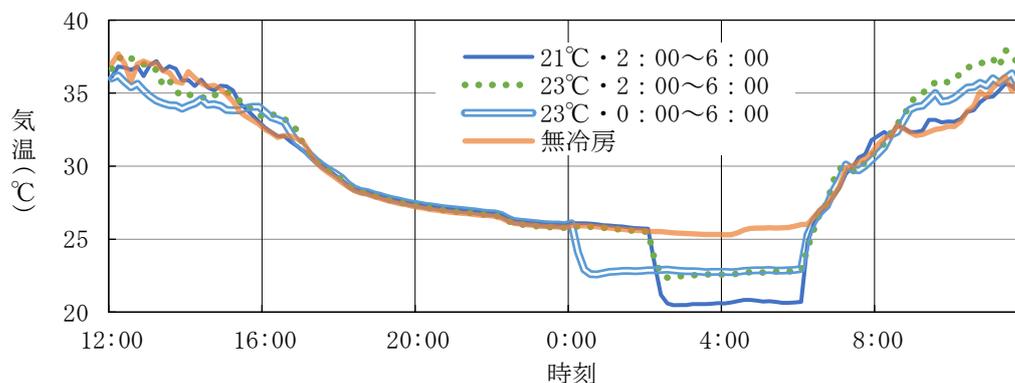


図 2 各試験区の平均室内気温(試験 2)
(2019 年 8 月 1 日~8 月 31 日の時刻ごとの平均)

表 4 夜間冷房の時間帯と開花及び切り花品質(試験 2)

試験区	到花日数	90 cm調整重 (g)
①21℃・2:00~6:00	56.1 c	75.5 a
②23℃・2:00~6:00	59.5 b	66.8 a
③23℃・0:00~6:00	58.3 b	74.8 a
④無冷房	62.8 a	74.4 a

注)同列の異符号間には Tukey の HSD 検定により 5%水準の有意差があることを示す。

表 5 処理区ごとの消費電力量(試験 2)

試験区	消費電力量 ¹⁾ (kWh)	相対値 (%)
①21℃・2:00~6:00	176.7	99.5
②23℃・2:00~6:00	146.5	82.5
③23℃・0:00~6:00	177.7	100

1) 2019 年 7 月 1 日~10 月 4 日(95 日間)のチャンバーでの実測値。

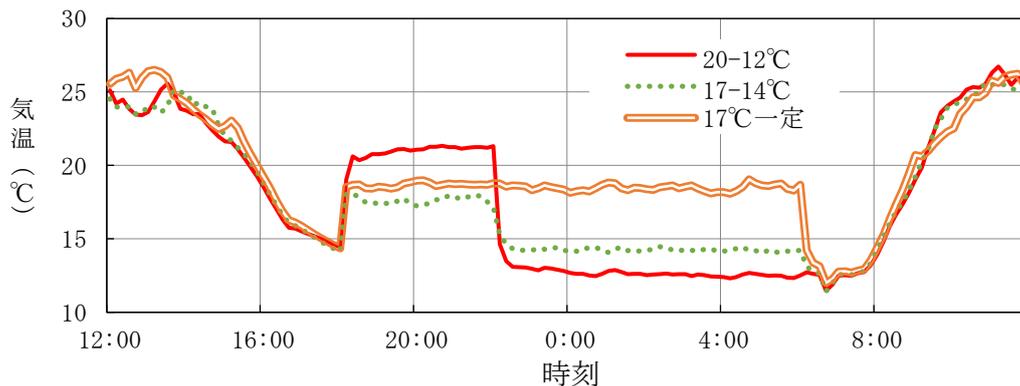


図3 各試験区の平均室内気温(試験3)
(2019年12月12日～2020年1月7日の時刻ごとの平均)

表6 暖房方法の違いと開花及び切り花重(試験3)

試験区	到花日数	90 cm調整重(g)
①20-12°C	50.3a	56.5a
②17-14°C	52.4b	45.9a
③17°C一定	50.8ab	55.8a

注) 同列の異符号間には Tukey の HSD 検定により 5% 水準の有意差があることを示す。

表7 1作あたり暖房に係るエネルギー消費量(試験3)

試験区	時間毎の暖房負荷 合計 (kWh)	相対値 (%)
①20-12°C	955.1	67.3
②17-14°C	943.0	66.4
③17°C一定	1419.7	100

区が最も多くなった。野村ら³⁾の試験では、全夜間冷房区と無冷房区について検討しており、到花日数は全夜間冷房により5日程度少なく、本試験の結果とほぼ同様の傾向となった。また、全夜間冷房と前夜半冷房についても比較しており、到花日数の差はほとんどなかったとしている。一方、本試験ではEOD冷房区は無冷房区よりも到花日数が多くなり、開花率も低下した。Nakanoら⁶⁾は、キクタニギクについて、開花遅延を起こすような高温条件下において、高温感受性が高いのは暗期後半であると報告している。また、過去の報告において、「精雲」やスプレーギクにおいて夜温25°C以上の条件で開花遅延が発生する^{7), 8)}ことが明らかにされている。

一般的に、「精の一世」の適温下における到花日数は7週間程度とされており、本試験でも無冷房で約65日と大きく遅れたことから、高温による開花遅延が発生したものと考えられた。また、EOD区において無冷房区よりもさらに開花が遅れた。この要因としては、EOD冷房によって、花芽の分化や発達の適温に遭遇した後、Nakanoら⁶⁾が報告している高温感受性の高い暗期後半に25°C以上の高温に遭遇したことで、より強く高温の影響を受けた可能性が示唆された。

なお、野村ら³⁾の報告では、全夜間冷房と前夜半冷房で到花日数にはほとんど差がなかったとしており、本試験の結果と異なったが、これは、試験を実施した年の気温の差によるものと推察された。

本試験における消費電力量は全夜間冷房区と比較して、EOD冷房区で45%、EON冷房区で32%となった。野村ら³⁾は、全夜間冷房区と比較した前夜半冷房区の消費電力量は約67%だったとしているが、今回のEOD冷房区で

は、野村ら³⁾の前夜半冷房区と比較し、20ポイント以上低くなった。これは冷房を行う時間が短いことや、夜間冷房開始日の違いと考えられた。

EON冷房の設定温度と時間帯について検討した試験2では、到花日数は設定温度の低い21°C・2:00～6:00区が最も少なくなった。23°C設定では、冷房時間を0:00～6:00と長くしても、21°C・2:00～6:00より到花日数が多くなったことから、「精の一世」は「精雲」やスプレーギクよりも低い夜温23°Cでも高温による開花遅延が発生し、それより低い夜温にすることが望ましいものと考えられた。

一般的に、「精の一世」のシェード栽培は到花日数が7週間程度とされているが、21°C・2:00～6:00区でも到花日数は8週間以上要している。青木ら¹⁾や西尾ら⁹⁾の報告では、「岩の白扇」やスプレーギクにおいて、明期の高温が、花成反応や品質に対してマイナスに作用しているとしており、「精の一世」についても、夜間だけでなく、日中の高温対策技術や、それらの組合せについても検討が必要である。

以上のことから、到花日数と消費電力量を考慮すると、21°C・2:00～6:00区が効率的な夜間冷房方法と考えられる。

2 厳寒期のEOD-heating方法について

道園ら⁵⁾は、厳寒期のスプレーギク栽培において、EOD-heating処理(20°C3時間-以降13°C)を行った場合は、18°C一定で温度管理した場合と開花時期はほぼ同じとなり、エネルギー消費量は約20%削減されたと報告している。また、川西ら⁶⁾はEOD-heating処理を行っても、一定温度管

理と同等の到花日数や切り花品質が得られたと報告している。

厳寒期に秋系輪ギク「神馬」を供試し、花芽分化期の EOD-heating 方法について検討した試験 3 でも、20-12°C 区では、慣行の 17°C 一定区と同等の到花日数と切り花品質が得られた。1 作当たりの暖房にかかるエネルギー消費量は 20-12°C 区で 17°C 一定区の 67.3% となった。これらの結果は、スプレーギクにおける道園ら⁵⁾や川西ら⁶⁾の報告と合致し、秋系輪ギク「神馬」においても、EOD-heating の有効性が明らかになった。また、道園ら⁵⁾や川西ら⁶⁾は花芽分化期以外にも、栄養成長期間や花芽発達期の EOD-heating 処理の有効性を示していることから、今後、輪ギクにおいても検討が必要である。

これらのことから、冬季厳寒期においては、花芽分化期の温度管理方法については、18:00~22:00 を 20°C、その後 12°C で加温する EOD-heating により、到花日数や切り花品質に悪影響を与えることなく、エネルギー消費量を削減できるものと考えられる。

なお、今回の試験は温室内に小型のチャンバーを設置して行った結果であり、今後、実際の栽培施設に近い、より大きな面積での実証試験を行い、実用面におけるコスト試算を行う必要がある。

謝辞：本研究を行うに当たり、「短時間変温管理法に基づく主要花き類の周年安定生産技術の開発」コンソーシアム代表の農研機構の道園氏をはじめ、構成員の方々にご指導、ご協力いただいたので、ここに感謝の意を表す。

1. 青木献, 福田正夫, 西尾譲一. 夏秋ギク「岩の白扇」の奇形花発生に対する親株養成時及び定植期以後の温度の影響. 愛知農総試研報. 34, 177-182(2002)
2. 谷川孝弘, 松井洋, 小林泰生. 温度が夏秋ギク「精雲」の開花遅延と貫生花の発生に及ぼす影響および貫生花発生率の減少対策. 園学研. 8(4), 495-501(2009)
3. 野村浩二, 渡邊孝政, 伊藤健二. 夏秋ギク「精の一世」の夜間冷房及び遮光処理が奇形花の発生に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 46, 87-94(2014)
4. 道園美弦, 久松完, 大宮あけみ, 市村一雄, 柴田道夫. 低温期のスプレーギク施設栽培における EOD-heating の有効性. 園学研. 11(4), 505-513(2012)
5. 川西孝秀, 島浩二, 林寛子, 道園美弦, 久松完. 日没の時間帯からの短時間の昇温処理がスプレーギクの生育, 開花および切り花品質に及ぼす影響. 園学研. 11(2), 241-249(2012)
6. Nakano Y., Higuchi Y., Sumitomo K., Oda A. and Hisamatsu T.. Delay of flowering by high temperature in chrysanthemum: heat-sensitive time-of-day and heat effects on CsFTL3 and CsAFT gene expression. J. Hort. Sci. & Biotech 90(2), 143-149(2015)
7. 伊藤健二, 福田正夫, 伊藤定男. キク「精雲」における貫生花の発生要因. 愛知農総試研報. 28, 232-239(1996)
8. 西尾譲一, 山内高弘, 米村浩次. スプレーギクのシェード栽培における温度が花芽分化・発達に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 20, 285-292(1988)

引用文献