

ワケギ生産性向上のための種球栽培，貯蔵および植付け作業の省力化に関する研究

誌名	広島県立総合技術研究所農業技術センター研究報告 = Bulletin of the Hiroshima Prefectural Technology Research Institute Agricultural Technology Research Center
ISSN	1882420X
著者名	川口, 岳芳
発行元	広島県立総合技術研究所農業技術センター
巻/号	93号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-90
発行年月	2019年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ワケギ生産性向上のための種球栽培，貯蔵および
植付け作業の省力化に関する研究

キーワード：電照，呼吸，球根，休眠，鱗葉，定植

川口 岳芳

BULLETIN
OF
THE HIROSHIMA PREFECTURAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE
AGRICULTURAL TECHNOLOGY RESEARCH CENTER
NO.93

CONTENTS

Studies on raising, storage and labor-saving planting of bulbs for
increasing productivity of *Allium* × *wakegi* Araki.

Takeyoshi KAWAGUCHI

Hiroshima Prefectural Technology Research Institute
Agricultural Technology Research Center
(Higashihiroshima, Hiroshima Prefecture, 739-0151 Japan)
January, 2019

目 次

第1章 緒論.....	1
第2章 初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大促進のための電照栽培技術の開発	6
第1節 電照光源と光強度が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響.....	6
第1項 異なる電照光源および光強度による長日処理が鱗茎肥大に及ぼす影響.....	6
1. 緒言.....	6
2. 材料および方法	6
3. 結果および考察	7
第2項 暗期中断光源への遠赤色光の付加が鱗茎肥大に及ぼす影響.....	10
1. 緒言.....	10
2. 材料および方法	10
3. 結果および考察	11
第2節 補光および暗期中断が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響	13
第1項 補光時間および暗期中断時間が鱗茎肥大に及ぼす影響.....	13
1. 緒言.....	13
2. 材料および方法	13
3. 結果および考察	13
第2項 長日処理期間が鱗茎肥大に及ぼす影響.....	16
1. 緒言.....	16
2. 材料および方法	16
3. 結果および考察	16
第3節 暗期中断の時間帯が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響.....	18
1. 緒言.....	18
2. 材料および方法	19
3. 結果および考察	19
第4節 最低気温および加温開始時期が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響	22
1. 緒言.....	22
2. 材料および方法	22
3. 結果および考察	22
第5節 結論.....	25
第3章 鱗茎の軒下吊り下げ貯蔵における種球品質と低温貯蔵技術の開発.....	27
第1節 鱗茎の軒下吊り下げ貯蔵における遮光が鱗茎の種球品質に及ぼす影響	28
1. 緒言.....	28
2. 材料および方法	28

3. 結果および考察	29
第2節 鱗茎貯蔵時の包装方法および貯蔵温度が種球品質に及ぼす影響.....	34
1. 緒言.....	34
2. 材料および方法	34
3. 結果および考察	35
第3節 鱗茎の低温貯蔵および予措方法が種球品質と定植後の生育に及ぼす影響	40
1. 緒言.....	40
2. 材料および方法	40
3. 結果および考察	42
第4節 予冷库内を好適な相対湿度とする除湿機の稼働時間の解明.....	47
1. 緒言.....	47
2. 材料および方法	48
3. 結果および考察	48
第5節 結論.....	49
第4章 鱗茎の植付け作業における省力・軽労化技術の実用性評価	51
第1節 簡易移植機を利用した鱗茎の植付け方法の開発とその実用性の検証.....	51
第1項 連結紙筒を利用した鱗茎の植付け方法の検討.....	51
1. 緒言.....	51
2. 材料および方法	51
3. 結果および考察	51
第2項 連結紙筒に装填可能な鱗茎の大きさの検討.....	54
1. 緒言.....	54
2. 材料および方法	54
3. 結果および考察	54
第3項 連結紙筒の浸漬時の水温が糊の溶解時間に及ぼす影響	55
1. 緒言.....	55
2. 材料および方法	55
3. 結果および考察	55
第4項 鱗茎重量と培地の充填が植付け精度および生育に及ぼす影響	56
1. 緒言.....	56
2. 材料および方法	57
3. 結果および考察	58
第2節 鱗茎の植付けに対応した簡易移植機の開発と植付け精度の評価	61
第1項 鱗茎の植付けに対応した簡易移植機の開発	61
1. 緒言.....	61
2. 材料および方法	62

3. 結果および考察	64
第2項 開発機の植付け精度の評価.....	70
1. 緒言	70
2. 材料および方法	70
3. 結果および考察	71
第3節 鱗茎の植付けに対応した簡易移植機による作業性の改善と実用性.....	72
第1項 球根対応簡易移植機による鱗茎の植付けが作業時間, 作業姿勢および自覚的運動強度に 及ぼす影響	72
1. 緒言	72
2. 材料および方法	72
3. 結果および考察	73
第2項 球根対応簡易移植機による鱗茎の植付けが生育および収量に及ぼす影響	76
1. 緒言	76
2. 材料および方法	76
3. 結果および考察	77
第4節 結論.....	79
第5章 総括.....	81
Abstract.....	83
謝辞.....	86
引用文献	87

第1章 緒論

ワケギ(*Allium × wakegi* Araki, 図 1-1)は APG(Angiosperm Phylogeny Group)に基づく分類体系ではヒガンバナ科ネギ属に属し(河原, 2014), ネギ(*A. fistulosum* L.)を種子親, シヤロット(*A. cepa* L. *Aggregatum* group)を花粉親に持つ一代雑種であることが明らかにされている(田代, 1984). 東アジアや東南アジア諸国で古くから栽培されてきた東洋在来の野菜であり, 和名類聚抄(1648 年)にワケギの記載があることから我が国への渡来はかなり古い(藤枝ら, 1980;長谷川ら, 1979;山崎, 2003). 生産物は柔らかい肉質, 甘味および独特な香りを有し, イカ, タコや貝類等と酢味噌で和えた「ぬた」やふぐ料理の薬味として親しまれている. ワケギの大きな特徴として, 雌性雄性ともに配偶子が不稔で種子ができないことがあげられ(田代, 1984), このため営利栽培では葉鞘基部にあたる鱗茎を栄養繁殖し, 種球として利用している. 鱗茎を秋季に 1 球定植すると翌春には数十に分げつする旺盛な増殖力を有することから, 特に京都を中心とする京阪神地区では子孫繁栄の縁起物として利用されている(JA グループ, 2015).

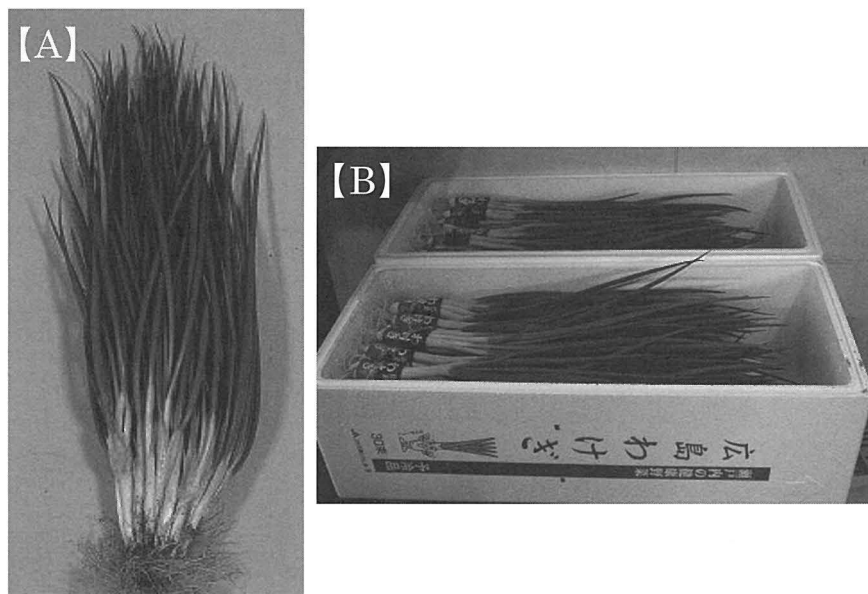


図 1-1 ワケギの外観【A】および出荷荷姿【B】

長谷川ら(1979)は, ワケギはタマネギとネギの性質を備え, 分げつ様式はネギ, 鱗茎の形成肥大はタマネギと同様であるとしている. 特に, 鱗茎は葉鞘基部の数層の鱗葉により形成され(沖森・長谷川, 1983), 鱗茎の肥大は鱗葉の形成と個々の鱗葉の肥大によるものである(長谷川ら, 1979). また, 鱗茎の肥大は同属のタマネギ(青葉, 1964), ラッキョウ(青葉, 1967)およびニンニク(青葉, 1965)と同様に長日により誘起され, 高温がこれを助長し, その限界日長は品種により異なる(長谷川ら, 1979)ことが報告されている. 鱗茎が肥大し株の倒伏後50~60日間は自発休眠期間にあたり, 休眠覚醒の短縮には高温処理が有効である(長谷川ら, 1981).

これまでに5 ha 以上のワケギの栽培が行われている都道府県について, 平成12年から26年までの栽培面積の推移を表1-1に示した. 全国におけるワケギの生産は, 一部の関東・東山地方および北陸地方を除き, 愛知県と近畿, 中国および九州地方の西日本で盛んである(農林水産省, 2016). しかし, いずれの地域でも栽培面積は減少傾向にあり, 平成12年の全国の栽培面積の合計は304 haであったが, 平成26年には116 haと大幅に減少している.

広島県のワケギ生産については, 明治 38 年発行の「農業調査」において既に尾道市および三原市で栽培が行われているとの記録があり(船越, 2002), 平成 12 年には地域特産物として 100 ha 以上の規模となり(農林水産省, 2016), 全国でも有数の生産

量を維持している(表 1-1, 図 1-2)。しかし、広島県においてもワケギの栽培面積は年々減少傾向にあり、特に平成 18 年以降の減少割合は大きく、平成 26 年には 68 ha にまで減少している。これに伴い出荷量については、平成 12 年には約 2400 t であったが、以降急激に減少し平成 26 年には 730 t までに減少している(農林水産省, 2016)。これらの販売量や栽培面積の減少の原因については、産地の高齢化が大きな原因と考えられ、特に広島県の農業従事者の平均年齢は、70.4 歳(農林水産省, 2011)で全国平均より 4.6 歳高い(2012 年実績, 広島県園芸振興協会, 2014)。また、県内のワケギ産地は、主に県東部の島嶼部地域に位置し、1 戸当たりの平均経営規模は 10~30 a で、傾斜地の圃場も含め一筆が 3~5 a の小規模な圃場が多く点在することから、大幅な面積拡大が困難であることも考えられる。

ワケギ栽培における種球(鱗茎)栽培はウイルスを防ぐため網室内で行われる。秋季に鱗茎を 1 球定植すると(図 1-3A)、秋季の第一次生育期(図 1-3B)、冬季の低温による生育停滞期および翌春の第二次生育期を経過し数十に分げつする(長谷川ら, 1979)。その後、長日に反応して鱗茎が肥大充実し、倒伏した株を掘り上げる(図 1-3C)。掘り上げた株は、10~20 球の鱗茎を交互に紐で数珠つなぎに結束し、軒下に吊り下げて貯蔵し(図 1-3D)、6~12 月に定植する各作型の種球として随時使用する(図 1-3E)。

従来の作型は、秋季に鱗茎を定植して年内に収穫する秋どり栽培、収穫時期を延長し翌年の 1~3 月に収穫する冬どり栽培および 4 月に収穫する春どり栽培に大別できる(長谷川ら, 1999; 野菜・茶業試験場, 1989, 図 1-4)。4~6 月は鱗茎の肥大充実後の自発休眠期にあたり休眠覚醒には一定期間の高温に遭遇させる必要がある(長谷川ら, 1981)ことから、定植しても萌芽しないため、夏季に収穫することは困難であり、この時期が唯一の端境期であった。しかし、その後、鱗茎の減圧吸水処理による休眠打破技術(長谷川ら, 1991)が開発されたことで、5~8 月に出荷する初夏どり栽培および夏どり栽培(野菜・茶業試験場, 1989)が可能になり、周年出荷体系が確立された。多くのワケギ品種では夏季の長日および高温により葉身の伸長停止や鱗茎肥大が発生し栽培が困難であるが、近年育成された‘広島 12 号’および‘広島 13 号’は夏季の長日および高温下でも順調に生育することから、現地への導入が進んでいる(古田ら, 2012, 2013)。

表 1-1 5 ha 以上のワケギ栽培が行われている都道府県における栽培面積の推移

		栽培面積 (ha)							
平成(年)		12	14	16	18	20	22	24	26
茨城		0	0	1	0	0	0	6	6
群馬		1	0	0	0	0	0	0	11
埼玉		16	15	16	16	17	16	1	5
千葉		8	8	2	0	7	5	0	0
神奈川		10	10	11	11	9	3	3	2
新潟		9	9	0	0	0	0	0	0
愛知		43	26	23	25	17	18	14	7
大阪		5	8	8	5	1	2	2	2
広島		112	114	118	97	86	82	71	68
愛媛		4	5	4	4	3	2	2	1
福岡		0	1	6	4	4	6	4	6
佐賀		4	5	4	3	2	1	1	1
長崎		15	17	7	9	3	1	0	1
熊本		6	6	5	5	0	0	0	0
鹿児島		1	1	6	1	0	0	0	0
全国合計		304	247	223	190	167	142	109	116

一方、種球の供給体制については、広島県立農業技術センター（現 広島県立総合技術研究所 農業技術センター）が昭和60年代にウイルスフリー化技術（池田ら，1991）を開発し、平成4年度からはウイルスフリー種球を用いた生産に移行し現在に至っている（船越，2002）。現在は本業務を民間企業が担っており、ウイルスフリー化した種球はその後地域のJAおよび生産組合による原々種および原種として増殖され、各農家での再増殖を経て営利栽培の種球として利用される供給体制が構築されている。

ワケギ生産における栽培上の問題点については以下の内容が挙げられ、本論文ではこれらの解決をめざした。

夏どり栽培以降の作型では、春季の長日および高温により肥大充実した鱗茎を掘り上げて種球として用いるが、3～5月に鱗茎を種球として定植する初夏どり栽培では、二次生育期途中の肥大充実が十分でない鱗茎を3月に掘り上げこれを種球として定植する。このため、鱗茎の定植後の生育や収量の低下が生じる。ワケギと同属のニンニクでは、鱗茎を定植し萌芽後の一定期間は鱗茎に蓄積された貯蔵養分により生育する（八畝，1999）。このことから、ワケギの初夏どり栽培用の種球栽培においても、定植後の生育や収量低下を防ぐために、従来の鱗茎の掘り上げ時期の5月より2か月早い3月に肥大充実した鱗茎を得る技術開発が有効であると考えられる。ワケギ鱗茎の肥大については、前述のとおり日長と密接な関係があり長日条件が鱗茎の肥大を促進することが報告されている（長谷川ら，1979）。しかし、ワケギの長日処理について詳細な報告はみられないことから、第2章では、3月の鱗茎の掘り上げ時に肥大充実した種球を得るため、電照による長日処理技術を検討した。

次に、種球増殖のための種球栽培においては、十分に充実肥大した鱗茎を6月に掘り上げた後、軒下で吊り下げ貯蔵するが、貯蔵期間が長くなるにつれて鱗茎が乾燥して柔細胞が減少し、繊維が残ったスポンジ状に萎縮する（川口ら，2017）。このため、春どり栽培用の最終定植時期となる年末には定植に適する鱗茎が激減し、これらの鱗茎を定植しても萌芽および生育不良が生じる。鱗茎の萎縮（軟化）について、タマネギ（加藤，1981）やユリ科のチューリップ（吉野，1967）では、貯蔵期間中の呼吸消耗により鱗茎や球根の貯蔵養分が減少するためと報告されている。ワケギ鱗茎の軒下吊り下げ貯蔵期間中の重量減少などの原因についても、同様に呼吸による消耗が生じていると考えられるが、詳細な研究はみられない。そこで、第3章では年内の定植に利用可能な鱗茎割合の向上を目的として、慣行の軒下への吊り下げ貯蔵におけるワケギ鱗茎の品質変化を明らかにし、低温貯蔵を中心とした貯蔵方法の改善を検討した。

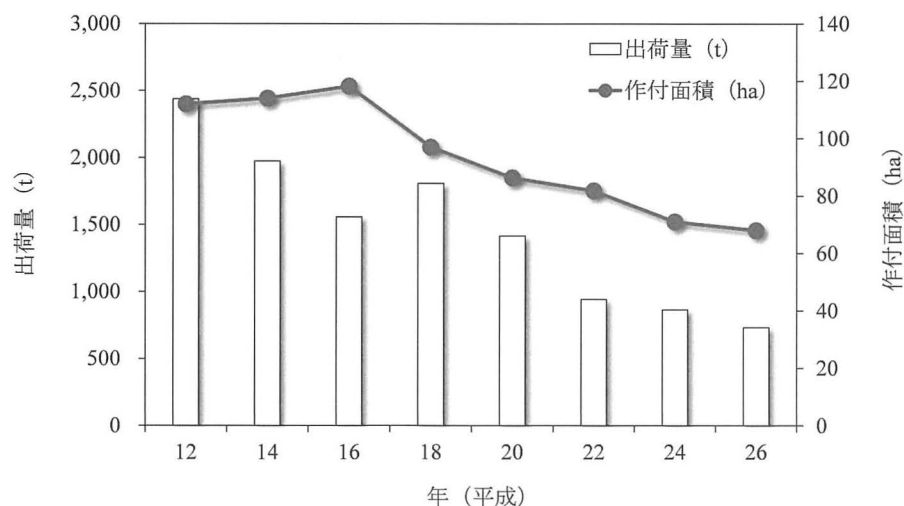


図 1-2 広島県におけるワケギの作付面積および出荷量の推移

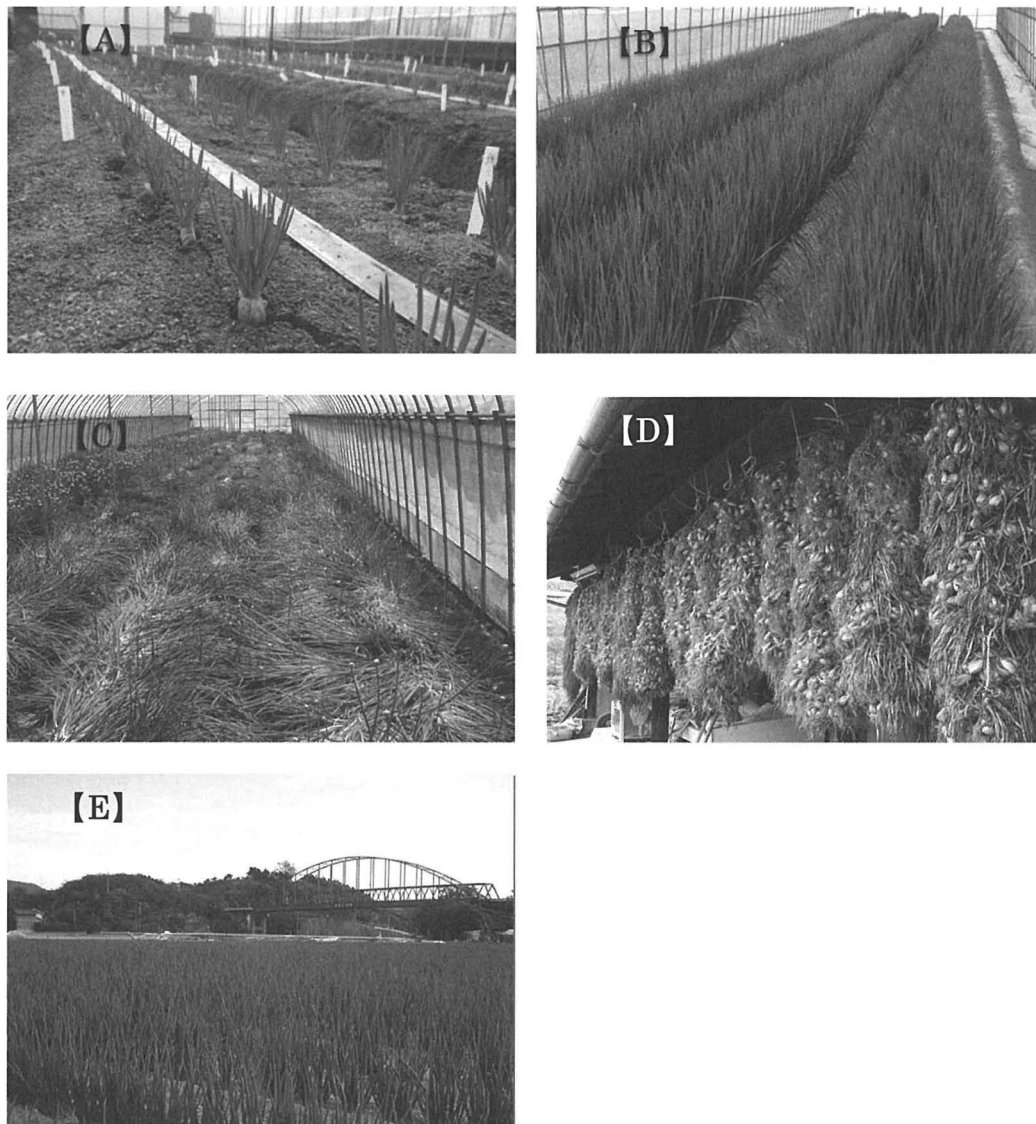


図 1-3 ワケギの種球栽培および営利栽培の概要

- A: 種球栽培における定植後の生育(秋季)
- B: 種球栽培における第一次生育期(秋季)
- C: 種球栽培における鱗茎肥大充実後の株の倒伏(春季)
- D: 軒下での種球の吊り下げ貯蔵(夏季～冬季)
- E: 種球定植後の生育

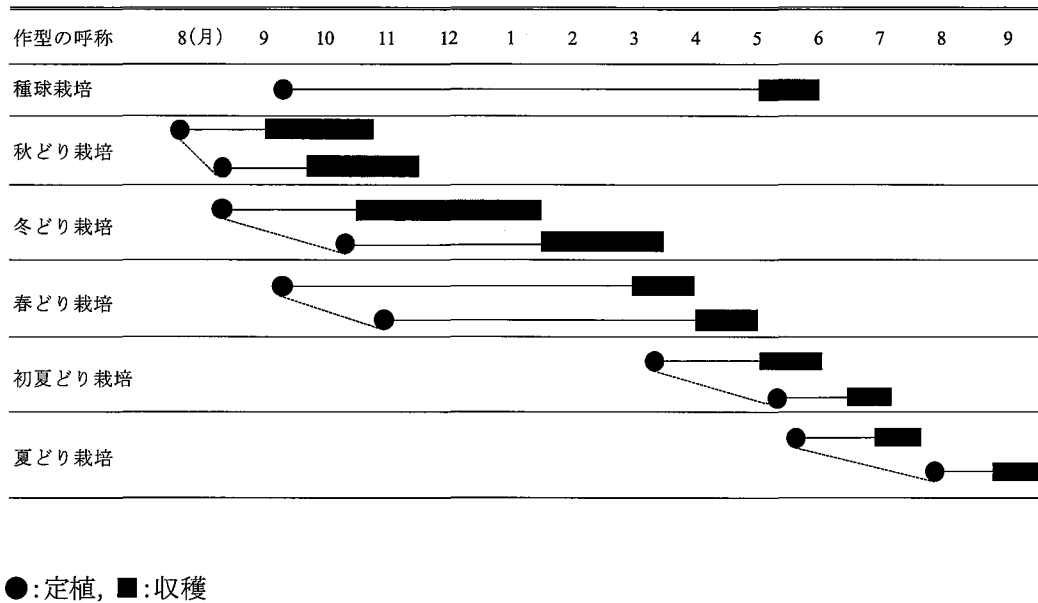


図 1-4 広島県におけるワケギの作型

最後に、ワケギの主な栽培作業は、鱗茎の定植(以下、植付け)、収穫および収穫物の調製作業が挙げられる(広島県農林水産部, 2006)。特に、鱗茎の植付け作業はつらさ指数(長町, 1995)が最大の 10 に相当する中腰姿勢による手作業が大部分であり(川口ら, 2007; 岡田ら, 2010), その鱗茎数は栽植密度の高い夏どり栽培で 1 a 当たり最大 5000 球(株間 10 cm, 条間 20 cm)に及ぶ。そこで、第 4 章では、植付け作業の省力・軽労化を目的とし、長ネギなどの苗の移植機として全国に普及している簡易移植機(ひっぱりくん®, 日本甜菜製糖(株))を利用したワケギ鱗茎の植付け方法を考案した。さらに、本方法に対応しワケギ鱗茎の植付けが可能な「球根対応簡易移植機 ひっぱりくん®HP-12H」(日本甜菜製糖(株))を開発し、作業性および栽培面からの実用性を検討した。

第2章 初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大促進のための電照栽培技術の開発

前章で述べたように、ワケギ栽培では、春どり栽培と同様に秋季に定植した鱗茎が、第一次生育期、冬季の低温による生育停滞期および翌年の第二次生育期を経過し、数十に分げつすることにより増殖した鱗茎を種球に用いる(長谷川ら, 1979)。その後、春季の長日に誘起されて十分に肥大充実した鱗茎を掘り上げ(長谷川ら, 1979)、紐で結束した後、軒下に吊り下げて貯蔵し、6~12月に定植する各作型の種球として随時使用する。しかし、3~5月に鱗茎を定植する初夏どり栽培では、二次生育期途中の肥大充実が不十分な鱗茎を3月に掘り上げ、これを種球として定植するため、その後の生育や収量の低下が生じる。

同属のニンニクでは、鱗茎を定植してから萌芽後の一定期間は、鱗茎に蓄積された貯蔵養分により生育するとされている(八畝, 1999)ことから、ワケギの初夏どり用の種球栽培においても、定植後の生育や収量低下を防ぐためには、3月に肥大充実した鱗茎を得るための技術開発を行うことが有効であると考えられる。同属のタマネギ(青葉, 1964)、ラッキョウ(青葉, 1967)およびニンニク(青葉, 1965)では、鱗茎の肥大は日長と密接な関係があり、長日条件が鱗茎の肥大を促進することが報告されている。ワケギにおいても、鱗茎の肥大は長日により誘起され、高温がこれを助長し、その限界日長は品種により異なることが報告されている(長谷川ら, 1979)。しかし、実際の電照栽培における光源、光質、光強度および暗期中断等の報告は少なく、特にワケギを対象とした電照栽培の詳細な報告はみられない。

そこで、本章では、初夏どり栽培用の充実した種球の供給を目的として、鱗茎の掘り上げ時にあたる3月の鱗茎の肥大充実を促進するための電照による長日処理技術の確立を試みた。第1節第1項では、長日処理時の光源および光合成有効光量子束密度(Photosynthetic Photon Flux Density, 以下、PPFD)が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大、その鱗茎を種球として定植した後の生育に及ぼす影響を検討した。さらに、第2項では、長日処理時の光源である白熱電球への遠赤色光の付加が、初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響について検討した。第2節では、長日処理の方法および処理期間が、初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響を調査した。第3節では、長日処理として15時間日長の日長延長と同等の鱗茎の肥大促進効果を有する3時間の暗期中断について、処理の時間帯が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響について明らかにした。第4節では、栽培期間中の最低気温および加温開始時期が初夏どり栽培用の種球栽培における生育および鱗茎肥大に及ぼす影響について検討した。

第1節 電照光源と光強度が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響

第1項 異なる電照光源および光強度による長日処理が鱗茎肥大に及ぼす影響

1. 緒言

長日処理時の光源およびPPFDが鱗茎肥大とその鱗茎を種球として定植後の生育に及ぼす影響を検討した。

2. 材料および方法

広島県立総合技術研究所農業技術センター(広島県東広島市八本松町, 北緯34度27分, 東経132度43分, 海拔224 m)のビニルハウス(間口6.4 m, 奥行き15 m)内にマサ土, バーク堆肥(有機物70%, $N:P_2O_5:K_2O=1.5\%:1.1\%:0.4\%$, 久米産業(株))およびパーライト(ケイ酸76%, アルミナ15%, 三井金属鉱業(株))を4:5:1(V/V), 苦土石灰(アルカリ分46%, 丸栄(株))を土壌100 L当たり150 g混合した長さ4.8×幅0.7 mの栽培ベッドを準備し, 全量基肥で配合肥料($N:P_2O_5:K_2O=10\%:18\%:15\%$)をN成分で1.2 kg・100 m²施用した。2002年9月18日に広島県の夏季の高温時の栽培に利用されている(長谷川ら, 1981)ウイルスフリー化した‘下関’系統のワケギ‘広島1号’の鱗茎4~6 gを栽培ベッドに条間20 cm, 株間65 cmの1 a当たり769球定植した。長日処理の光源は, 電球色蛍光灯(EX-L, 15 W, (株)東芝ライテック, 以下, 蛍光灯区), 植物栽培用蛍光灯(BRN, 15W, (株)東芝ライテック, 以下, 植物用蛍光灯区)および白熱電球(IL, 60 W, (株)松下電器産業, 現パナソニック, 以下, 白熱電球区)とした。土壌表面のPPFDは0.2~0.4(以下, PPFD低区), 0.5~1.2(以下, PPFD中区)および2.0~2.7 $\mu\text{mol}\cdot$

$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (以下, PPFD 高区)とし, 対照として無電照区を設けた. 光源のスペクトルは, 別途 2003 年 4 月 2 日に暗室において, 各光源 1 球を高さ 80 cm に設置し, 波長別エネルギー分析装置 (LI-1800C, (株)LI-COR) により測定した. 各光源を栽培ベッドの端上部に設置し, 光量子センサー (LI-192SA, (株)LI-COR) およびデータロガー (LI-1000, (株)LI-COR) を用いて, その直下の土壌表面の PPFD が 100 lux 相当の約 $3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となるように設置高を調整した. 長日処理は日長延長とし, 日長は供試した「広島 1 号」が長日として十分に反応する (長谷川ら, 1979) 16 時間 (電照時間; 4:00~7:00 および 16:30~20:00) となるように電照した. 処理期間は, 2002 年 12 月 27 日から栽培終了時の 2003 年 3 月 11 日までとした. なお, 処理時には区間に設置したポリエチレン製の農業用白黒マルチを展開し, 他区からの光の影響を受けないようにした. 処理区の 1 区面積を 0.42 m^2 に設定し, 1 区 3 株, 2 反復とした. 栽培中の灌水開始点は, 畦面から深さ 10 cm の土壌水分張力が pF2.1 に達した時点とし, 点滴チューブを用いて 1 回当たり 5 mm に相当する量を灌水した. 栽培期間中は日最低気温が 0°C を下回らないように管理した.

2003 年 3 月 11 日に処理を終了し, 株を掘り上げ, 調製重, 草丈, 分げつ数, 交合部径, 葉鞘基部径, 肥大指数および鱗葉の発生状況を調査した. 調製重は, 株を掘り上げて分割後, 枯死した葉身とすべての根を除去した状態で計測した. 鱗葉の肥大指数は加藤 (1963) に従い, 葉鞘基部の最大横径を最小横径となる交合部径で除した値とした. また, 「鱗葉」は加藤 (1973) および山崎 (2003) に従い, 葉鞘基部が肥厚し葉身が伸長せず, 葉身長を葉鞘長比で除した値が 1 以下の葉とし, その長さを計測した. 葉身長, 交合部径および葉鞘基部径は, 各株について葉長が最大であった 1 分げつを調査した. また, 葉身を切断した鱗葉を各処理区 3 球ずつ, 2 反復とし, 生体重を計測した. その後, 80°C に設定した通風乾燥機で 72 時間乾燥し, 乾物重を計測して乾物率を算出した (植物栄養実験法編集委員会, 1990).

3. 結果および考察

各光源の分光分布を図 2-1 に示した. 蛍光灯区では 550 および 660 nm 付近, 植物用蛍光灯区では 550 および 620 nm 付近に光量子束密度のピークがみられ, 白熱電球区は波長が長いほど光量子束密度が高い分光分布を示した.

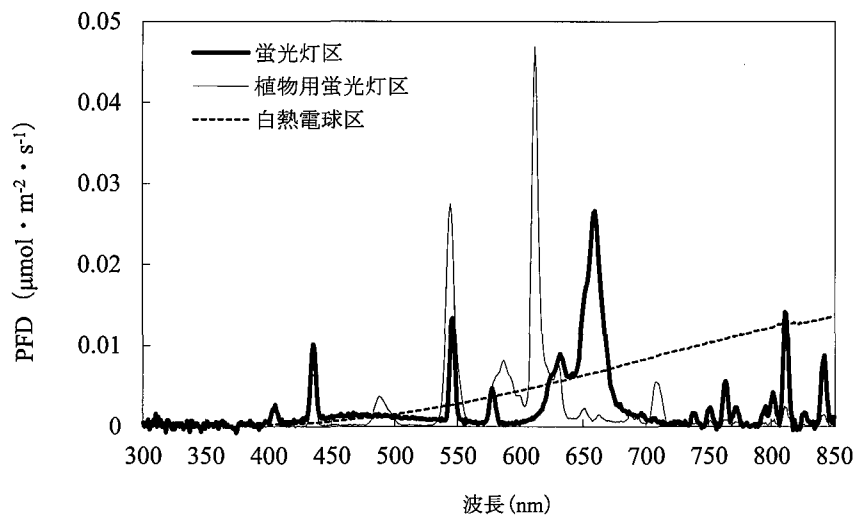


図 2-1 供試した各光源の PPFD $1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 時の分光分布

表 2-1 供試した光源の分光特性と土壌表面の PPFD が $1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ となる設置高

光源	PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		R/FR 比 600-700/700-800 nm	設置高 ^x (cm)
	R ^z	FR ^y		
蛍光灯区	0.55	0.08	6.99	84
植物用蛍光灯区	0.36	0.05	6.90	58
白熱電球区	2.49	4.04	0.62	157

^zR:Red, 600~700 nm ^yFR:Far Red, 700~800 nm^x各光源を1球設置した場合の光源直下のPPFDが $1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ となる設置高

これらの光源について分光特性および土壌表面の PPFD が $1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ となる設置高を表 2-1 に示した。蛍光灯区および植物用蛍光灯区では、遠赤色光 (700~800 nm) に対する赤色光 (600~700 nm) の比率が顕著に高く、赤色光 (600~700 nm, R) と遠赤色光 (700~800 nm, FR) の光量子束密度の比 (R/FR 比) は、蛍光灯区で 6.99、植物用蛍光灯区で 6.90 であった。一方、白熱電球区の R/FR 比は 0.62 と低かった。また、PPFD が $1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とするための各光源 1 球の設置高は、蛍光灯区で 84 cm、植物用蛍光灯区で 58 cm および白熱電球区で 157 cm であった。

鱗茎掘り上げ時の生育状況を表 2-2 に示した。草丈、調製重および分げつ数には、光源の種類および PPFD による有意な差はみられなかった。鱗茎の生体重には、処理による有意な差はみられなかったが、対照区と比較してすべての処理区で乾物重が有意に大きく、各光源内でも PPFD が高くなるほど大きかった。これに伴い乾物率は、対照区では 16.2%で他の区では 17.2~23.2%であった。鱗葉長も、対照区と比較してすべての処理区で有意に大きく、特に白熱電球区の PPFD 高区が他の処理区と比較して有意に大きかった。

掘り上げ時の鱗茎の交合部径、葉鞘基部径および鱗茎の肥大指数を図 2-2 に示した。交合部径には、処理による有意な差はみられなかった。葉鞘基部径は、対照区と比較して蛍光灯区および植物用蛍光灯区の PPFD 中区および高区と白熱電球区が有意に大きかった。鱗茎の肥大指数は、対照区と比較してすべての処理区で有意に大きく、すべての光源において PPFD が高いほど有意に大きかった。慣行栽培の 5 月の掘り上げ時の鱗茎の肥大指数は 2.5 以上であるが、白熱電球区の PPFD 高区および PPFD 中区、蛍光灯区の PPFD 高区、ならびに植物用蛍光灯区の PPFD 高区では慣行と同等以上の肥大指数であった。

本実験において、鱗茎掘り上げ時の草丈および調製重には、処理による有意な差はみられなかったが、葉鞘基部径では蛍光灯区および植物用蛍光灯区の PPFD 低区を除いたすべての処理区、鱗茎の肥大指数はすべての処理区で、対照区と比較して処理による有意な差がみられた (図 2-2)。タマネギでは長日処理により葉身の伸長が短期間で終了し、鱗茎肥大に移行する (山田・琴谷, 1971) と報告されている。ワケギでは、秋季に鱗茎を定植すると秋季の第一次生育期、冬季の低温による生育停滞期、その後の第二次生育期を経て鱗茎の肥大充実期に達し、鱗茎の肥大はタマネギと同様に長日条件により誘起される (長谷川ら, 1979)。本実験においても長日処理により第二次生育期における葉身の伸長が短期間で終了し、その後の鱗茎の肥大充実期に速やかに移行したと考えられた。

光源の違いによる鱗茎肥大の促進効果については、白熱電球区では他の光源と比較して鱗茎の肥大指数が大きく、PPFD 中区の $0.5\sim 1.2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の処理により、慣行の種球栽培での掘り上げ時にあたる 5 月の鱗茎の肥大指数と同等の 2.5 に達した (図 2-2)。植物の形態形成は、フィトクロムの量 P に対するフィトクロムの活性型 Pfr の比率、つまり赤色光と遠赤色光の比率 Pfr/P により決定されると報告されている (Hartman, 1966)。また、タマネギでは主明期に続く遠赤色光の補光により鱗茎の肥大が促進されるが、赤色光の補光は遠赤色光による鱗茎の肥大促進に対して拮抗的に作用し肥大を抑制する (寺分, 1970) と報告されている。さらに、ニンニクでも低温による鱗茎形成の誘導処理を受けた後、R/FR 比が低い白熱電球の終夜照明により、貯蔵葉の形成および鱗茎肥大の促進効果が示されたとしている (高樹・青葉, 1976)。本実験に用いた電球色蛍光灯および植物栽培用蛍光灯の分光特性は、赤色光を含む可視域を多く放出し遠赤色光は著しく少なかった (表 2-1)。これに対し、白熱電球の分光特性は、自然

表 2-2 ワケギ初夏どり栽培用種球栽培における長日処理の光源と PPFD が鱗茎の掘り上げ時の生育に及ぼす影響

光源	PPFD ^z	草丈	調製重	分け つ数	鱗茎			鱗葉長
		(cm)	(g)	(個/株)	生体重 (g)	乾物重 (g)	乾物率 (%)	(mm)
無電照(対照)		46.1	241.9	40.6	12.0	1.9a ^y	16.2	14.8a
蛍光灯区	低	51.4	333.1	45.2	18.2	3.6b	19.7	29.5b
	中	51.0	252.7	33.3	17.6	3.7b	21.4	28.4b
	高	49.0	243.4	35.2	18.6	4.2c	22.7	28.4b
植物用蛍光灯区	低	54.4	288.6	41.2	19.0	3.8b	20.0	29.5b
	中	53.3	320.6	50.3	17.0	3.7b	21.7	27.6b
	高	54.9	346.7	45.7	22.3	5.2c	23.1	27.7b
白熱電球区	低	52.5	242.0	33.5	13.8	2.4a	17.2	26.5b
	中	56.1	369.5	45.5	22.5	5.1c	22.5	29.0b
	高	53.4	273.4	36.8	22.0	5.0c	23.2	33.3c
分散分析 (p<0.05)		NS	NS	NS	NS	*	—	*

^z低, 中および高区は, それぞれ PPFD0.2~0.4, 0.5~1.2 および 2.0~2.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ に設定した

^y同一調査項目において, 異なる英文字間には, Tukey の多重検定により 5%水準で有意差があることを示す

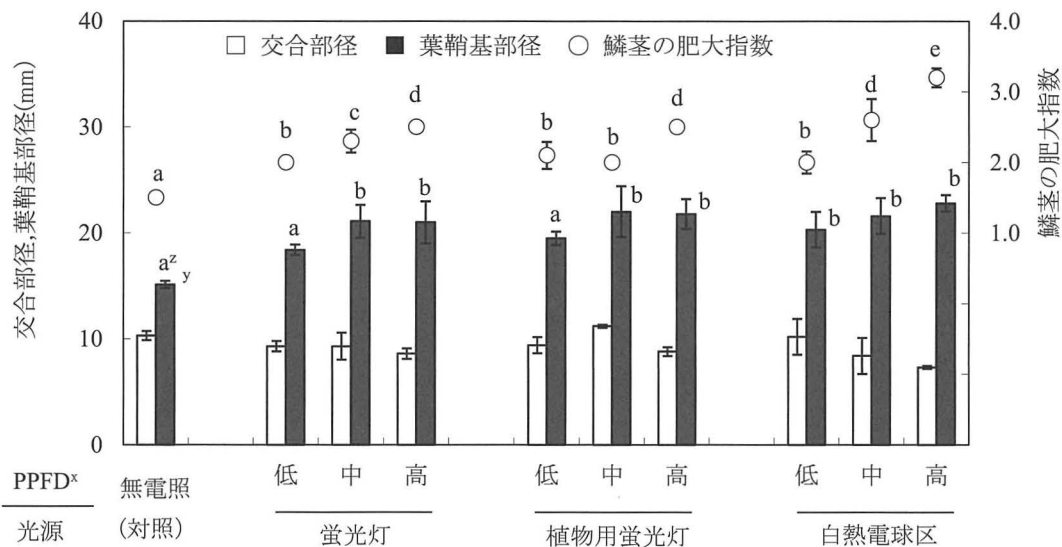


図 2-2 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における長日処理の光源と PPFD が交合部径, 葉鞘基部径および鱗茎の肥大指数に及ぼす影響

^z同一調査項目において, 異なる英文字間には, Tukey の多重検定により 5%水準で有意差があることを示す

^y図中の垂線は標準偏差を示す

^x低, 中および高区は, それぞれ PPFD0.2~0.4, 0.5~1.2 および 2.0~2.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を示す

光と同様に 1000 nm に波長ピークを有し, 赤色光と比較して遠赤色光が多かった(表 2-1). これらのことから, 本実験においてもタマネギやニンニクと同様に遠赤色がワケギの鱗茎の肥大に促進的に作用し, 同じ光強度では遠赤色光が多く放射されている白熱電球が有効であったと考えられた. さらに, 各光源において PPFD が高いと鱗茎の肥大指数が高まったことは, 遠赤色光の照射量の増大が鱗茎の肥大に促進的に作用したと考えられた.

以上のことから, 初夏どり栽培用の種球栽培において, 日長延長による長日処理は, 鱗葉の発生および鱗茎肥大を促進する効果があることが示唆された. その効果は, 光源の種類と光強度によって異なり, 遠赤色光が多く放射され R/FR 比が小さく, かつ

PPFD が大きいほど高いと考えられた。慣行の種球栽培の掘り上げ時である 5 月時の鱗茎の肥大指数 2.5 と同等に肥大し、乾物率の高い鱗茎を得るためには、16 時間の日長延長処理の光源として、初期投資が大幅に小さい白熱電球を用い、土壌表面の PPFD を $0.5 \sim 1.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ とするのが適当であると判断した。この PPFD は、90 W の白熱電球を土壌表面から 1.5 m の高さに 1 a 当たり 25 球設置することで得られる。これらの電照方法により、1 日当たりの電照時間は 6.5 時間となり、1 作当たりの電照期間は 100 日間で合計の電照時間は 650 時間と算出される。また、10 a の栽培に必要な鱗茎を生産するためには、1 a の種球栽培が必要であり、その電照栽培に必要な電気代は約 32,000 円 (22 円/kwh) と試算される。さらに、電照による電気代の削減を目的とし、LED 等の鱗茎肥大に有効な光源の検討、長日処理としての暗期中断の可能性とその処理期間および時間帯を検討する必要があると考えられた。

第 2 項 暗期中断光源への遠赤色光の付加が鱗茎肥大に及ぼす影響

1. 緒言

ワケギと同属のネギでは、長日処理時の光質により鱗茎の肥大程度が異なる(寺分, 1965, 1970)とされている。また、タマネギ(寺分, 1965, 1970, 1978)やニンニク(寺分, 1978)では遠赤色光および青色光は鱗茎肥大を促すが、赤色光はこれらの作用を抑制し、遠赤色光 (700~800 nm, 以下, FR) と赤色光 (600~700 nm, 以下, R) との混合比 (R/FR 比) が高い場合は、赤色光が遠赤色光に対し拮抗的に作用するとされている。また、寺分 (1978) は、ワケギについても遠赤色光による鱗茎の肥大を促進する作用がみられたとしている。

そこで、初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎の肥大促進を目的として、第 2 項では長日処理時の光源に有効であった白熱電球(川口ら, 2010)への遠赤色光の付加が鱗茎肥大に及ぼす影響について検討した。

2. 材料および方法

2004 年 9 月 22 日に 7 号鉢(直径 21 cm)にマサ土とバーク堆肥(有機物 70%, N:P₂O₅:K₂O=1.5%:1.1%:0.4%, 久米産業(株))を 1:1 (V/V) で充填し、有機入り配合肥料(N:P₂O₅:K₂O=10%:8%:9%, 広島県製肥(株))を 1 鉢あたり 12.5 g 混和し、1 鉢あたりの N, P₂O₅ および K₂O の合計成分量をそれぞれ 1.3, 1.0 および 1.1 g とした。重量 4~6 g のワケギ鱗茎を 1 鉢当たり 1 球定植し、広島県立総合技術研究所農業技術センター内の日最低気温が 0℃を下回らないように管理したガラス室内に搬入した。処理区として、地表面から高さ 120 cm に白熱電球(シリカ電球 LW100V76W, (株)ナショナル, 現パナソニック)を 1 球設置した白熱電球区、白熱電球 1 球に加えピーク波長が 724 nm の遠赤色光の LED 電球((株)メロ電気工業)を高さ 140 cm に 4 球設置した FR 付加量少区、高さ 90 cm に 4 球設置した FR 付加量多区および対照として無電照区を設けた。なお、R/FR 比は、白熱電球区で 0.56, FR 付加量少区で 0.44 および FR 付加量多区で 0.34 であった(表 2-3)。各処理区 9 株とし、鉢の土壌表面の PPFD を約 $1.1 \sim 1.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ に設定した。長日処理は、22:00~2:00 に電照する 4 時間の暗期中断とし、処理期間は 2005 年 1 月 1 日から 3 月 29 日とした。処理時には区間に設置したポリエチレン製の農業用白黒マルチを展開し、他区からの光の影響を受けないようにした。なお、各処理区は、各光源の分光特性、高さおよび距離別の光強度を波長別エネルギー分析装置(LI-1800C, (株)LI-COR)により計測した値に基づき設定した。栽培中の灌水開始点は、鉢内の土壌水分張力が pF2.1 に達した時点とし、灌水ノズルにより 1 回当たり 5 mm に相当する量を灌水した。

2005 年 3 月 29 日に処理を終了し、株を掘り上げ、生育および鱗茎の肥大状況を調査した後、ビニルハウス内に鱗茎を吊り下げ貯蔵した。4 月 5 日に各処理区の鱗茎重量を計測した後、葉身および古い根を切断して調製し、種球栽培時と同様の培地および肥料を充填した 7 号鉢に各処理区 6 球ずつ定植栽培した。6 月 17 日に株を掘り上げ、各処理区の生育状況を調査した。なお、供試品種、実験場所、調製重、鱗茎の肥大指数および鱗葉の調査は第 1 項と同様の方法とした。

表 2-3 各処理区の分光特性

処理区	PFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		R/FR比 ^x	土壌表面の ^w PPFD
	R ^z	FR ^y		
FR付加量少区	0.78	1.79	0.44	1.22
FR付加量多区	0.85	2.46	0.34	1.32
白熱電球区	0.73	1.30	0.56	1.16

^z Red, 600~700 nm ^y Far Red, 700~800 nm^x 600~700/700~800 nm^w 光合成有効光量子密度 (400~700 nm)

3. 結果および考察

各処理区の分光分布を図 2-3, 分光特性を表 2-3 に示した. 730 nm 前後をピークとした波長の遠赤色光の付加量は, 白熱電球区と比較して FR 付加量多区で多く, 次いで FR 付加少量区であった. これに伴い, R/FR 比は FR 付加量多区で最も小さく, 次いで FR 付加量少区であった.

鱗茎の掘り上げ時の生育状況, 定植時の鱗茎重量および定植後の生育を表 2-4, 鱗茎の肥大状況を図 2-4 に示した. 調製重, 葉長および分けつ数には, 処理による有意な差はみられなかった. 交合部径および葉鞘基部径においても, 処理による有意な差はみられなかった. 鱗茎の肥大指数は, 対照区と比較してすべての処理区で有意に大きかったが, FR 付加による有意な差はみられなかった. 鱗葉長は, 対照区と比較してすべての処理区で有意に大きかった. 定植時の鱗茎重量は, 対照区と比較してすべての処理区で有意に大きく, 特に FR 付加量多区で大きかった. 鱗茎を種球として定植し, 栽培した後の収穫時の調製重および分けつ数は, 処理による有意な差はみられなかった. 葉長は, 対照区と比較してすべての処理区で有意に大きかった.

ワケギに対する長日条件の影響について, 秋季に鱗茎を定植すると翌春には長日に反応し鱗茎の肥大充実期に達し(長谷川ら, 1979), 長日条件による鱗茎肥大の内的要因として, オーキシシレベルが一時的に高まり, ABA の増加が誘発されることにより鱗葉形成が誘導され, 高温条件と乾燥条件が促進的に作用することが報告されている(大久保ら, 1981). 本実験においても, 掘り上げ時の生育に処理による有意差がみられなかった(表 2-4)ことは, 第 1 項と同様に長日処理により第二次生育期(長谷川ら, 1979)を終了し, その後の鱗茎の肥大充実期に速やかに移行したものと考えられた.

種球栽培時の遠赤色光による影響については, 白熱電球への遠赤色光の付加量により定植時の鱗茎重量の増加がみられたが, 鱗葉長, 鱗茎の肥大指数および定植後の調製重の増加には至らなかった(表 2-4, 図 2-4). タマネギ(寺分, 1965, 1970, 1978)およびニンニク(寺分, 1970, 1978)では, 長日処理時の遠赤色光の付加により鱗茎の肥大を促進することが報告されている. さらに, ワケギでは山崎(2003)および川口ら(2006)が夏どり栽培において, 太陽光の遠赤色光の透過を抑制するフィルム下で栽培することにより, 長日で誘起される鱗茎の肥大を抑制できることを明らかにしており, 遠赤色光がワケギの鱗茎肥大に深く関与していることを示唆している. しかし, 一方で R/FR 比の低下つまり遠赤色光の照射量の増加によるワケギの球径の増加は, タマネギおよびニンニクと比較して緩慢である(寺分, 1978). 本実験において, 電照光源への遠赤色光の付加により定植時の鱗茎重量が増加した(表 2-4)ことは, 処理による分けつ数に差がなかったことから考察すると, 鱗茎数の多少による鱗茎 1 球あたりの重量が増加したとは考えづらく, 処理による鱗茎への還元糖の蓄積(田口, 1948)が促進されたことによると推察された. また, 鱗茎を掘り上げてから定植までの間, 軒下へ吊り下げ貯蔵する. この間にタマネギと同様に鱗茎内の水分が蒸発(玉木ら, 2002)し, 貯蔵養分が呼吸により消耗(加藤, 1965, 1981)すると推察されるが, 電照光源への遠赤色光の付加により掘り上げ時の鱗茎が肥大充実し, 吊り下げ貯蔵後の定植時まで鱗茎重量が維持されていたと考えられた. しかし, 本実験において, 電照光源への遠赤色光の付加により, 鱗茎掘り上げ時の重量の増加の他に, 顕著な鱗茎肥大や定植後の生育の促進効果がみられなかったことは(表 2-4), 寺分(1978)の報告と同様にワケギでは遠赤色光への反応が緩慢であったと推察された.

以上のことから、ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培において、電照光源への遠赤色光の付加は、鱗茎肥大の促進効果が明確でなかったこと、LED の初期投資が高価であることから判断すると、現状では初期投資が少ない白熱電球を用いることとし、今後のLED等の電照機器の価格低下に伴い明らかにした光質と鱗茎肥大との関係を活用することとした。

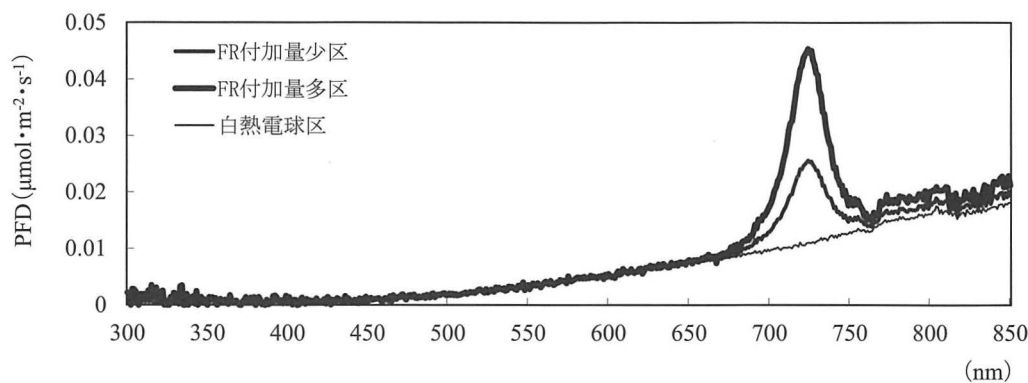


図 2-3 供試した各光源の PPFD1 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 時の分光分布

表 2-4 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における暗期中断光源への遠赤色光の付加が鱗茎肥大および定植後の生育に及ぼす影響

処理区	掘り上げ時				定植時の 鱗茎重量	定植後の生育		
	調製重 (g)	葉長 (cm)	分けつ数 (個/株)	鱗葉長 (mm)		調製重 (g)	葉長 (cm)	分けつ数 (個/株)
無電照区(対照)	474.5	53.1	66.2	14.9a ^z	4.2a	41.0	27.0a	12.2
白熱電球区	441.4	52.6	62.9	26.3b	5.7bc	46.0	39.0ab	12.7
FR付加量少区	492.0	54.7	64.9	23.2b	5.5b	43.6	48.0b	12.7
FR付加量多区	450.4	52.6	66.1	24.6b	6.8c	43.6	41.7ab	14.7
分散分析	NS ^y	NS	NS	*	*	NS	*	NS

^z 同一調査項目において、異なる英文字を付した数値間には、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

^y *は5%水準で有意、NSは有意差が無いことを示す

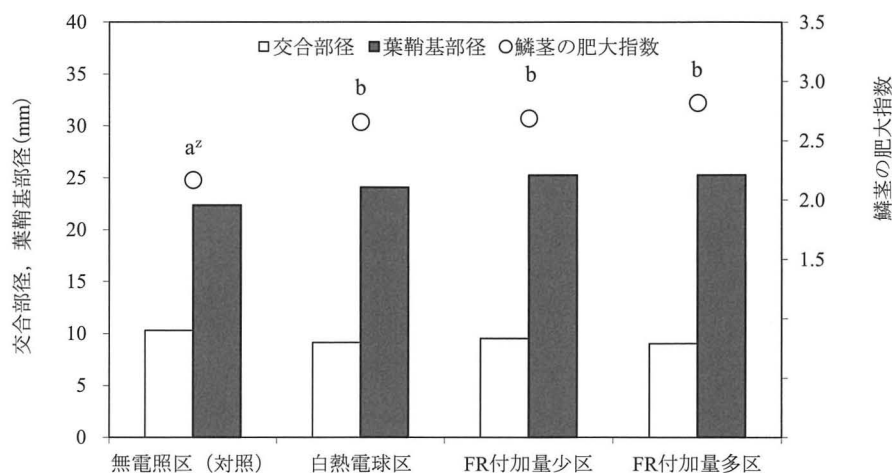


図 2-4 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における暗期中断光源への遠赤色光の付加が交合部径、葉鞘基部径および鱗茎の肥大指数に及ぼす影響

^z 同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

第2節 補光および暗期中断が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響

第1項 補光時間および暗期中断時間が鱗茎肥大に及ぼす影響

1. 緒言

長日植物の開花は、暗期が短くなることによって誘導されることが知られており、長日処理として日長延長の他に暗期中断する電照方法(暗期中断)が用いられるようになった(Hamner・Bonner, 1938). さらに、長日処理の期間について、タマネギ(青葉, 1964)では処理期間が長いほど鱗茎の肥大が促進されることが報告されているが、ワケギの種球栽培における長日処理としての暗期中断や長日処理の期間が鱗茎の肥大に及ぼす影響についての詳細な報告はみられない。

そこで、長日処理としての日長延長および電照時間の短縮を目的とした暗期中断が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響を調査した。

2. 材料および方法

2003年9月19日にビニルハウス内(間口7.2 m, 奥行き15 m)に1球が6~9 gのワケギ鱗茎を畝幅120 cm, 条間20 cm, 株間20 cmとして1 a当たり833球定植した。圃場へは、全量基肥で有機質配合肥料(N:P₂O₅:K₂O=10%:8%:9%(有機物70%, N:P₂O₅:K₂O=1.5%:1.1%:0.4%, 久米産業(株))および肥効調節型肥料(70 日溶出タイプ, N:P₂O₅:K₂O=20%:0%:13%, ジェイカムアグリ(株))をN成分でそれぞれ10および2.5 kg・100 m²施用した。併せて、バーク堆肥(有機物70%, N:P₂O₅:K₂O=1.5%:1.1%:0.4%, 久米産業(株))および石灰質資材としての粉碎かき殻(CaCO₃ 89%, 丸栄(株))をそれぞれ500 kgおよび10 kg・100 m²も混合した。長日処理として日長延長および暗期中断を行い、処理期間を2004年1月1日~3月25日とした。日長延長は、朝および夕方に電照し、13時間日長区(電照時間(以降も同様); 5:30~7:30 および 16:30~18:30), 14時間日長区(5:00~7:30 および 16:30~19:00), 15時間日長区(4:30~7:30 および 16:30~19:30)および16時間日長区(4:00~7:30 および 16:30~20:00)を設けた。暗期中断は、0時を中央に1時間中断区(23:30~0:30), 2時間中断区(23:00~1:00), 3時間中断区(22:30~1:30)および4時間中断区(22:00~2:00)を設け、対照として自然日長区を設けた。なお、第1項および第2項の自然日長区における2003年12月, 2004年1月, 2月および3月の日長は、それぞれ10時間8~19分, 10時間10~42分, 10時間40分~11時間33分および11時間35分~12時間34分であった(CASIO, 2016)。栽培期間中の日最低気温が0℃を下回らないように管理した。光源は、白熱電球(シリカ電球 LW100-90W, (株)ナショナル, 現パナソニック)を用い、土壌表面のPPFDを1.5~2.0 μmol・m⁻²・s⁻¹とした。なお、処理時には区間に設置したポリエチレン製の農業用白黒マルチを展開し、他区からの光の影響を受けないようにした。

3月25日に処理を終了し、株を掘り上げ、各処理区10株として調製重、草丈、分げつ数、交合部径、葉鞘基部径および鱗葉の形成状況を調査した。葉身長、交合部径および葉鞘基部径は、各株について葉長が最大であった2分球を調査した。また、葉身を切断した鱗茎を各処理区5球ずつ、2反復とし、生体重を計測した後、第1節と同様の方法で乾燥後、乾物率を算出した。掘り上げ時の生育状況を調査した各処理区の株は、約10分球ずつ交互に麻ひもで結束し、スレート屋根と足場鋼管(直径48.6 mm)で組んだ枠(奥行き120 cm, 幅190 cm, 高さ170 cm)軒下の高さ約150 cmに吊り下げた。

2004年5月14日に吊り下げ貯蔵中の各処理区の鱗茎を取り出し、葉身および古い根を切断し各処理区20球の重量を計測した。マサ土とバーク堆肥(有機物70%, N:P₂O₅:K₂O=1.5%:1.1%:0.4%, 久米産業(株))を1:1(V/V)で充填し、有機入り配合肥料(N:P₂O₅:K₂O=10%:8%:9%, 広島県製肥(株))を1鉢当たり1.25 g混合した直径15 cmの黒ポリポットを各処理区12鉢ずつ用意し、鱗茎を1鉢に1球ずつ定植した。6月17日に株を掘り上げ、調製重、葉長および分げつ数を調査した。なお、供試品種、実験場所、調製重、鱗茎の肥大指数および鱗葉の調査および鱗茎の乾燥方法は第1節第1項と同様の方法とした。

3. 結果および考察

鱗茎掘り上げ時の生育状況を表2-5、鱗茎の肥大状況を図2-5に示した。調製重、葉長、分げつ数および分球数には、長日処理の方法や処理時間による有意な差はみられなかった。鱗茎内の鱗葉は、すべての区において形成されており、鱗葉長は、自然日長区と比較して14時間日長区、15時間日長区および16時間日長区、2時間暗期中断区、3時間暗期中断区および4時間暗

期中断区で有意に大きかった。鱗茎の乾物率は、自然日長区では 17.7%, 日長延長では 20.3~21.9%および暗期中断では 19.2~22.3%であった。交合部径には処理による有意な差がみられなかった。葉鞘基部径は、自然日長区と比較して 14 時間日長区, 15 時間日長区, 16 時間日長区, 3 時間暗期中断区および 4 時間暗期中断区で有意に大きかった。鱗茎の肥大指数は、補光時間および暗期中断時間が長くなるに従って大きくなる傾向にあり、自然日長区と比較してすべての日長延長した区, 3 時間暗期中断区および 4 時間暗期中断区で有意に大きかった。

定植時の鱗茎の重量と定植後の生育状況を表 2-6 に示した。鱗茎の掘り上げ 50 日後となる定植時の鱗茎重量は、自然日長区と比較して 15 時間日長区, 16 時間日長区, 3 時間暗期中断区および 4 時間暗期中断区で有意に大きく、長日処理の時間が長いほど大きい傾向にあった。萌芽日数は、自然日長区以外の処理区間では有意な差がみられなかった。また自然日長区との有意差がみられたのは、13 時間日長区のみであった。調製重は、補光時間および暗期中断時間が長いほど大きい傾向にあり、自然日長区と比較して 16 時間日長区, 3 時間暗期中断区および 4 時間暗期中断区で有意に大きかった。葉長は、自然日長区と比較してすべての処理区で有意な差がみられなかった。分げつ数は、補光時間および暗期中断時間が長いほど大きい傾向がみられたが、自然日長区と比較して 4 時間暗期中断区のみ有意に大きかった。

鱗茎肥大に対する日長の影響については、ワケギとタマネギ(青葉, 1964), ラッキョウ(青葉, 1967)およびニンニク(青葉・高樹, 1971)において、長日により鱗茎の形成が促進されることが報告されている。ワケギにおいても、長谷川ら(1979)は、秋季に鱗茎を定植すると第一次生育期, 冬季の生育停滞期, 第二次生育期を経た後、長日に誘起され鱗葉が形成されることにより、鱗茎が肥大する肥大充実期に至ると報告している。鱗茎を掘り上げて調査を行った 3 月下旬には、いずれの区においても調製重, 葉長, 分げつおよび分球数に処理による差がみられず、鱗葉が形成されていたことから、第二次生育期を終了し、鱗茎の肥大充実期に達していたと考えられる。一方、自然日長区では葉鞘基部径や鱗茎の肥大指数が小さかった(図 2-5)ことから鱗茎の肥大充実期の始期であったと判断される。

長日処理の日長について、青葉・高樹(1971)はニンニクでは日長が長いほど球形成の誘導効果が大きく、16 時間日長では処理前に冬季の低温を経過することが必要であるが、20 時間以上の日長では低温を経過しなくても球を形成するとしている。同様に、ワケギでも日長が長いほど鱗茎形成に対して強力な誘導刺激として作用するとされている(山崎, 2003)。本実験において、14~16 時間の日長延長および 3~4 時間の暗期中断処理により鱗葉長(表 2-5)および鱗茎の肥大指数(図 2-5)がいずれも増加したことから、鱗茎形成の誘導効果がみられ、16 時間日長まではより長い日長ほど鱗茎形成への誘導刺激が大きいことが示唆された。

暗期中断処理について、樋口(1993)は光周性における開花反応は明期ではなく連続した暗期の長さが関係しており、短日植物では限界暗期より長い暗期、長日植物では限界暗期より短い暗期に遭遇することにより花成が開始するとしている。このことから、これらの植物の開花調節には、日長延長ではなく暗期を 2 分する電照が行われ、2~4 時間の処理が標準とされている(川田ら, 1996)。暗期中断時間による花芽分化の抑制効果について、ヒガンバナ科に属する園芸品目での報告はみられないが、佐々木ら(2013)はスプレーギクにおいて、暗期 5 時間までは処理が長いほど効果が大きいとしている。また、上野ら(1961)は、イチゴの花芽分化期前後の暗期中断が花芽分化の抑制に及ぼす影響を検討し、1/3, 1 および 3 時間では長いほど効果が大きく、3 時間の暗期中断で 15~16 時間日長処理と同等の効果が得られたとしている。

ワケギを対象とした本実験においても、暗期中断による鱗茎の肥大促進効果がみられ、暗期中断時間が深夜 0 時を中央とした 1~4 時間の範囲では、処理時間が長いほど鱗茎形成に対してより強い誘導刺激が与えられていたと推察され、葉鞘基部径および鱗茎の肥大指数が大きい傾向にあった(表 2-5)。なお、暗期中断の時間帯と鱗茎肥大の関係については、今後詳細を検討する必要がある。本実験では、暗期中断処理時の光強度(PPFD)が $1.5 \sim 2.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ と一定であったことから、PPFD と暗期中断時間の積は処理時間が長いほど大きくなり、鱗茎形成に対してより強い誘導刺激が与えられていた。また、上野ら(1961)のイチゴの花芽分化の抑制に対する暗期中断の影響と同様に、ワケギの鱗茎肥大に対しても 3 時間の暗期中断で 15 時間日長の長日処理と同等の効果が得られることが示唆された。

以上のことから、初夏どり栽培用の種球栽培において、鱗茎の肥大促進を目的として長日処理を行う場合、15~16 時間の日長延長および 3~4 時間の暗期中断が有効であり、定植後の初期生育が旺盛となることが明らかとなった。このことは、実験場所にお

ける平年の1月1日の日長は概ね10時間(国立天文台, 2015)であることから, 15時間の日長延長処理には5時間の電照が必要となる。これに対し, 3時間の暗期中断の電照時間は, 15時間の日長延長と比較して2時間短縮でき, さらに深夜電力の利用も可能となることから, 大幅な電気代の削減が期待でき, 実用性が高いと考えられる。

表 2-5 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における日長延長と暗期中断が鱗茎掘り上げ時の生育に及ぼす影響

長日処理方法	日長あるいは 暗期中断時間 (時間)	株重 (g)	葉長 (cm)	分けつ数 (本)	分球数 (球)	鱗葉 形成株率 (%)	鱗葉長 (mm)	鱗茎		
								新鮮重 (g)	乾物重 (g)	乾物率 (%)
日長延長	自然日長	912	63.0	74.4	32.7	100	17.1a ^z	6.0	1.0	17.7
	13	763	63.4	71.3	30.6	100	23.0abc	7.0	1.4	20.3
	14	828	67.2	63.5	28.2	100	25.8bc	8.1	1.8	21.9
	15	883	69.0	54.1	26.4	100	24.8bc	9.9	2.0	20.6
	16	888	68.3	59.0	28.1	100	24.0bc	10.6	2.2	20.6
暗期中断	1	988	64.8	71.4	32.1	100	22.7abc	6.6	1.3	19.2
	2	898	68.7	65.4	28.9	100	25.7bc	8.2	1.7	20.3
	3	773	65.4	62.9	29.2	100	27.5bc	9.0	1.9	21.5
	4	898	66.1	65.5	31.9	100	28.8c	9.2	2.1	22.3
分散分析		NS ^y	NS	NS	NS	—	*	—	—	—

^z 同一調査項目において, 異なる英文字間には, Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す
(株重, 葉長, 分けつ数, 分球数, 鱗葉長はn=10, 鱗葉形成株率はn=2, 鱗茎の乾物率は鱗茎5球をまとめて計測, n=2)

^y *は5%水準で有意, NSは有意差がないことを示す

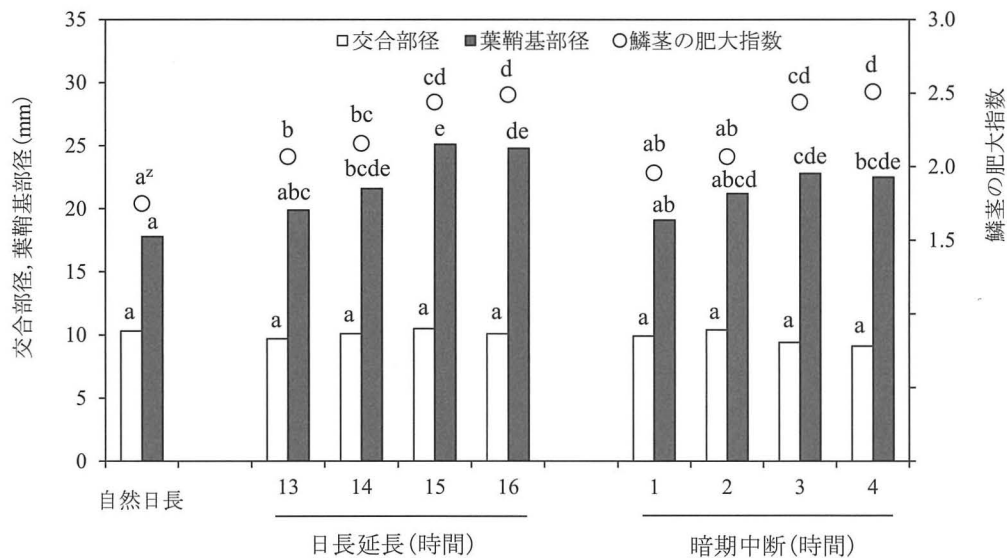


図 2-5 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における日長延長と暗期中断が交合部径, 葉鞘基部径および鱗茎の肥大指数に及ぼす影響

^z 同一調査項目において, 異なる英文字間には, Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

表 2-6 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における日長延長と暗期中断が定植時の鱗茎重量と生育に及ぼす影響

長日処理方法	日長あるいは 暗期中断時間	定植時の 鱗茎重量 (g)	萌芽日数 ^z (日)	調製重 (g/株)	葉長 (cm)	分けつ数 (個/株)
	自然日長	4.1a ^y	11.7a	16.8a	31.8ab	8.7ab
日長延長	13	5.1abc	15.1b	18.2ab	33.1ab	7.7a
	14	4.5ab	14.1ab	17.0a	30.1a	7.7a
	15	5.6bcd	12.9ab	22.2ab	34.0b	8.9abc
	16	6.1cd	12.8ab	24.0b	33.5ab	10.1abc
暗期中断	1	4.9abc	13.8ab	17.5a	30.8ab	8.1a
	2	4.7ab	12.6ab	18.5ab	32.2ab	8.9abc
	3	5.7bcd	12.9ab	24.0b	32.1ab	10.7 bc
	4	6.6d	13.2ab	23.8b	34.0b	11.1c

^z 定植した5月14日から萌芽までの日数^y 同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

第2項 長日処理期間が鱗茎肥大に及ぼす影響

1. 緒言

長日処理の開始時期が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響を調査した。

2. 材料および方法

長日処理は明期を 16 時間(4:00～7:30 および 16:30～20:00)とする日長延長方式により行った。処理開始時期は、掘り上げ 100 日前の 2003 年 12 月 10 日(以下、100 日前区)、80 日前の 2004 年 1 月 1 日(以下、80 日前区)、60 日前の 1 月 20 日(以下、60 日前区)、40 日前の 2 月 10 日(以下、40 日前区)とし、対照として自然日長区を設けた。

3 月 22 日に処理を終了し、各処理区 16 株として生育状況を調査した後、軒下に吊り下げ貯蔵した。なお、定植日、栽植密度、施肥、温度管理、処理の光源と PPFD、生育状況の調査方法、鱗茎の定植日および定植後の生育状況の調査方法は第 1 項と同様とした。

3. 結果および考察

鱗茎掘り上げ時の生育状況を表 2-7 に示した。調製重、分けつ数および分球数には、長日処理の開始時期による有意な差はみられなかった。鱗茎の掘り上げ時には、いずれの処理区でも鱗茎内に鱗葉が形成されており、鱗葉長は自然日長区と比較して長日処理を行ったすべての処理区で有意に大きく、特に 100 日区および 80 日区で大きかった。鱗茎の乾物率は、自然日長区では 13.2%、長日処理を行った区では 15.4～17.2%であった。交合部径には、処理による有意な差はみられなかった。

鱗茎の肥大状況を図 2-6 に示した。交合部径は、長日処理の開始時期による有意な差はみられなかった。葉鞘基部径は、自然日長区と比較して 100 日区、80 日区および 60 日区で有意に大きく、特に 100 日区および 80 日区で大きかった。鱗茎の肥大指数は、自然日長区と比較してすべての処理区で有意に大きく、長日処理の期間が長いほど大きい傾向にあった。

定植時の鱗茎の重量と定植後の生育状況を表 2-8 に示した。鱗茎の掘り上げ 47 日後となる定植時の鱗茎重量および調製重は、自然日長区と比較してすべての処理区で有意に大きかった。萌芽日数および葉長には、処理による有意な差はみられなかった。分けつ数は、自然日長区と比較して 100 日区、80 日区および 40 日区で有意に大きかった。

表 2-7 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における長日処理の開始時期が鱗茎の掘り上げ時の生育に及ぼす影響

長日処理日数 (開始日)	株重 (g)	葉長 (cm)	分けつ数 (本)	分球数 (球)	鱗葉 形成株率 (%)	鱗葉長 (mm)	鱗茎		
							新鮮重 (g)	乾物重 (g)	乾物率 (%)
自然日長	1374	74.4a ^z	97.8	30.4	100	19.0a	9.5	1.2	13.2
100(12月10日)	1511	80.6b	88.9	32.4	100	31.0c	15.5	2.7	17.2
80(1月1日)	1448	75.3a	80.7	31.2	100	30.6c	14.6	2.4	16.6
60(1月20日)	1322	76.0a	86.2	33.0	100	24.7b	11.7	1.9	16.1
40(2月10日)	1255	76.6ab	78.9	29.1	100	26.1b	11.6	1.8	15.4
分散分析	NS ^y	*	NS	NS	—	*	—	—	—

^z 同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

(株重、葉長、分けつ数、分球数、鱗葉長はn=16、鱗葉形成株率はn=2、鱗茎の乾物率は鱗茎5球をまとめて計測、n=2)

^y *は5%水準で有意、NSは有意差がないことを示す

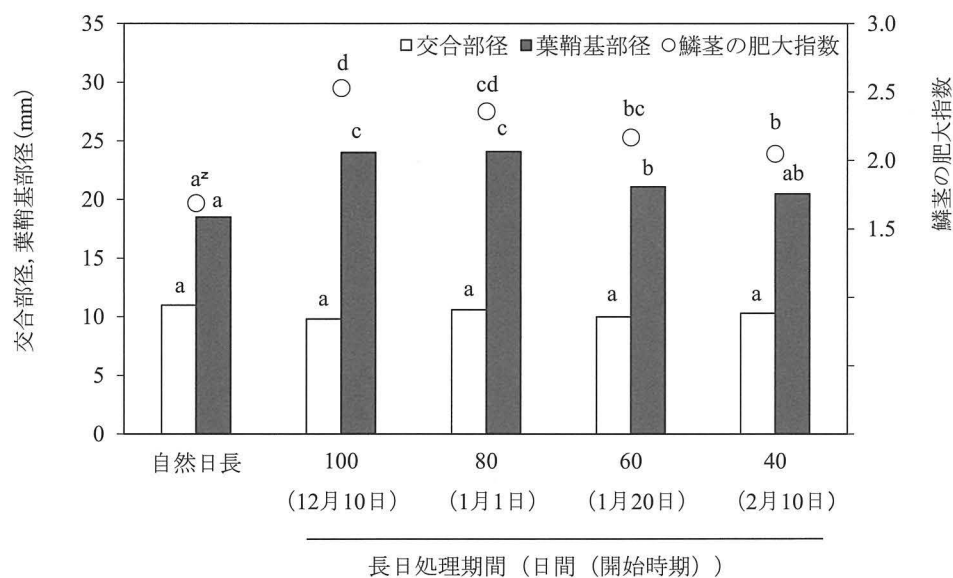


図 2-6 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における長日処理の開始時期が交合部径、葉鞘基部径および鱗茎の肥大指数に及ぼす影響

^z 同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

表 2-8 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における長日処理の開始時期が定植時の鱗茎重量と生育に及ぼす影響

長日処理 期間(開始時期)	定植時の 鱗茎重量 (g)	萌芽日数 ^z (日)	調製重 (g/株)	葉長 (cm)	分けつ数 (個/株)
自然日長	3.0a ^y	10.3	15.2a	31.1	7.4a
100(12月10日)	6.1b	11.4	26.0b	35.7	10.0b
80(1月1日)	6.2b	10.8	23.5b	34.4	10.1b
60(1月20日)	6.2b	10.6	23.0b	36.0	8.3ab
40(2月10日)	5.3b	10.0	22.2b	33.9	10.2b

^z 定植した5月14日から萌芽までの日数

^y 同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

長日処理の処理期間について、ラッキョウでは短日条件から長日条件に変更すると変更半月～1 か月後から葉の鱗葉化および花序の分化がみられると報告されている(青葉, 1967). また, 青葉(1964)は, タマネギの球形成に対する長日処理期間の影響について検討しており, 25～85 日間の処理ではいずれも新葉の分化が停止し, 貯蔵葉である鱗葉(高樹・青葉, 1977)から成長点までの葉数はほぼ同等であったこと, 処理期間がこれより短いと普通葉の鱗葉化が不十分な状態で発育が停止し, 球内の鱗葉と普通葉の数が少なかったとしている. 本実験ではすべての処理区において貯蔵葉である鱗葉が形成され, さらに鱗茎の肥大指数は長日処理期間が長いほど, 葉鞘基部径は 80 日以上で長日処理で大きかった. これらのことは, ラッキョウおよびタマネギと同様に, 長期の長日処理により鱗茎内で普通葉の分化が停止し, 貯蔵葉化である鱗葉の形成が促進されたためと考えられた. また, 長日処理期間が 40 および 60 日では, 鱗葉長(表 2-7)および葉鞘基部径(図 2-6)が 80 および 100 日区と比較して有意に小さかった. これは, 40 および 60 日区の処理期間は, 前述のラッキョウやタマネギなどのネギ類の品目で長日の鱗葉化の効果が報告されている 25～30 日と比較して長いことから, 長日処理により鱗茎内での鱗葉化が進んでいたが, 他の処理区と比較して処理が不十分であったためと考えられた. また, 佐々木ら(2013)のスプレーギクの花芽分化抑制が可能な PPFD とこれに対応する暗期中断時間の積がほぼ一定であるとした報告に基づくと, 本実験における鱗茎肥大の差は処理時の PPFD および日長は一定であったことから, 長日処理の長期化により鱗茎形成に対する誘導刺激が増加したことに起因すると考えられ, PPFD および日長に加え長日処理期間も鱗茎肥大に対して重要な要因であることが示唆された.

掘り上げ時の鱗茎の直径にあたる葉鞘基部径およびその後約 50 日間軒下に吊り下げて貯蔵した後の定植時の鱗茎重量は, 自然日長区と比較して 15 時間以上の日長延長および 3 時間以上の暗期中断処理した区で有意に大きく, 15 時間日長の効果は 3 時間の暗期中断と同等であった(表 2-6). これらの区では定植約 1 か月後の調製重, 葉長および分げつ数が大きかったことから, 長日処理が鱗茎の肥大充実を促し, 定植後の初期成長を旺盛にすることが示唆された. また, 長日処理期間が定植時の鱗茎重量に及ぼす影響は, 自然日長区と比較してすべての長日処理期間で有意に大きく, 特に 1 月 20 日までに長日処理を開始した区で大きい傾向にあった. これまで, 球根の貯蔵養分含量や球根内部で分化した芽数は, 球根重量により異なり, ワケギ(川口ら, 2014)やスカシユリ(藤原, 1992)においても, 鱗茎や球根重量が大きいほど定植後の成長が旺盛となることが報告されており, 本実験でも同様の傾向を示した. 一方, 長日処理期間により鱗茎の定植後の調製重, 葉長および分げつ数に有意な差がみられなかった(表 2-8)ことは, いずれの処理区も 16 時間日長の処理であり, 球根重量が現地慣行栽培において定植後十分に生育する 5 g 以上であったこと, 定植約 1 か月後の初期生育を調査したため処理による差が小さかったためと推察し, 今後長期栽培での影響を明らかにする必要があると考えられた.

以上のことから, 16 時間の日長延長の処理期間については, 処理期間が長いほど鱗茎の肥大指数は高まるが, 1 月 20 日および 2 月 10 日に開始し処理期間を 60 および 40 日とすると, 鱗茎の肥大程度や鱗葉が小さく, さらに, 2 月 10 日では定植時の鱗茎重量も小さかったことから, 遅くとも 1 月 1 日から処理を開始し処理期間を 80 日とすることが望ましいと考えられた.

第 3 節 暗期中断の時間帯が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響

1. 緒言

短日植物のキクでは花芽分化の抑制を目的とし, 日長延長や暗期中断による電照栽培が行われているが, 暗期中断の時間帯は暗期の中央に中断処理するのが効果的であるという報告(船越, 1989; 小西ら, 1990)がある. 一方, 暗期中断の効果的な時間帯は, 暗期の中央より後半にあるとの報告(塚本ら, 1953; 金子ら, 1997)もある. しかしながら, ワケギにおける暗期中断の時間帯と鱗茎肥大との関係についての詳細な報告はみられない.

そこで, 本節では, 第 2 節において長日処理として 15 時間日長の日長延長と同等の鱗茎の肥大促進効果を有する 3 時間の暗期中断について, 処理の時間帯が鱗茎肥大に及ぼす影響について検討した.

2. 材料および方法

2004年9月13日に重量3～5 gのワケギ鱗茎をビニルハウス内に株間20 cm, 条間70 cmの1 a当たり715株で定植した。圃場へは、全量基肥で有機質配合肥料(N:P₂O₅:K₂O=10%:8%:9%, 広島県製肥(株))および肥効調節型肥料(70日溶出タイプ, N:P₂O₅:K₂O=20%:0%:13%, ジェイカムアグリ(株))をそれぞれ10および2.5 kg・100 m²施用し, N, P₂O₅およびK₂Oの合計成分量をそれぞれ1.5, 0.8および1.2 kg・100 m²とした。パーク堆肥(有機物70%, N:P₂O₅:K₂O=1.5%:1.1%:0.4%, 久米産業(株))および石灰質資材としての粉碎かき殻(CaCO₃89%, 丸栄(株))をそれぞれ400 kgおよび10 kg・100 m²を併せて混和した。栽培期間中の温度は12月10日から日最低気温2℃を下回らないように管理した。暗期中断は2005年1月1日より開始し, 処理の時間帯を23:00～2:00(以下, 23～2 中断区), 1:00～4:00(以下, 1～4 中断区), 3:00～6:00(以下, 3～6 中断区)および対照として自然日長区を設けた。光源は, 白熱電球(シリカ電球 LW100-90W, (株)ナショナル, 現パナソニック)を用い, 土壌表面のPPFDを1.5～2.0 μmol・m⁻²・s⁻¹とした。なお, 処理時には区間に設置したポリエチレン製の農業用白黒マルチを展張し, 他の処理区からの光の影響を受けないようにした。

2005年3月22日および23日に処理を終了し, 株を掘り上げ, 調製重, 草丈, 分げつ数, 交合部径, 葉鞘基部径および鱗葉の形成状況を調査した。1区8株, 1反復とし, 葉長, 交合部径および葉鞘基部径は, 各株の葉長が長い2分げつについて調査した。また, 葉身を切断した鱗茎を各処理区5球ずつ2反復とし, 生体重を計測し乾燥後, 乾物率を算出した(植物栄養実験法編集委員会, 1990)。鱗茎の掘り上げ時の生育状況を調査した各処理区に分げつは, 約10分球ずつ交互に麻ひもで結束し, スレート屋根の軒下(D120 cm, W190 cm, H170 cm)に吊り下げた。

3月30日, 4月15日および5月2日に吊り下げ貯蔵中の各処理区の鱗茎を取り出し, 葉身および古い根を切断し調製した後, 各処理区10球の重量を計測した。その後, 調製した鱗茎を各処理区10球ずつ株間10 cm, 条間20 cmの1 a当たり5000株で定植した。圃場へは有機質配合肥料(N:P₂O₅:K₂O=10%:8%:9%, 広島県製肥(株))を全量基肥で15 kg・100 m²施用し, N, P₂O₅およびK₂Oの合計成分量をそれぞれ1.5, 1.2および1.4 kg・100 m²を施肥し, パーク堆肥(有機物70%, N:P₂O₅:K₂O=1.5%:1.1%:0.4%, 久米産業(株))および石灰質資材としての粉碎かき殻(CaCO₃89%, 丸栄(株))をそれぞれ400 kg, 10 kg・100 m²を併せて混和した。栽培中の灌水方法は種球栽培時と同様とした。3月, 4月および5月に定植した鱗茎を栽培後, それぞれ5月30日, 6月9日および10日, 6月20日および21日に生育状況を調査した。なお, 供試品種, 実験場所, 調製重, 鱗茎の肥大指数および鱗葉の調査および鱗茎の乾燥方法は第1節第1項と同様の方法とした。

3. 結果および考察

鱗茎掘り上げ時の生育状況を表2-9, 各処理区における鱗茎の肥大状況を図2-7に示した。調製重, 葉長, 分げつ数, 分球数および抽苔数には, 暗期中断の時間帯による有意な差はみられなかった。交合部径は自然日長区と比較してすべての処理区で小さく, 葉鞘基部径は自然日長区と比較して23～2 中断区のみで有意に小さく, それ以外は有意な差はみられなかった。この結果, 鱗茎の肥大指数は, 自然日長区と比較してすべての処理区で有意に大きく, 特に3～6 中断区で大きかった。鱗葉長は, 自然日長区と比較して1～4 中断区および3～6 中断区で有意に大きかったが, 暗期中断処理の時間帯による有意な差はみられなかった。

本実験においても暗期中断により自然日長と比較して鱗茎の肥大指数および鱗葉長が有意に大きく, 鱗茎の乾物率も大きい傾向にあり(図2-7, 表2-9), 第1節および第2節のタマネギ(山田・琴谷, 1971)やワケギ(長谷川ら, 1979)での報告と同様に, 長日処理による鱗茎肥大の促進効果が示された。

暗期中断の時間帯については, 前述のとおりキクでは花芽分化の抑制を目的として暗期中断による電照栽培が行われているが, 処理の時間帯は暗期の中央が効果的であるとされている(船越, 1989; 小西ら, 1990)。しかし, 一方では暗期中断の効果的な時間帯は, 暗期の中央より後半にあるとの報告もみられる(塚本ら, 1953; 金子・Tjeerd, 1997)。塚本ら(1953)はキクの開花抑制に効果的な暗期中断の時間帯(Night Break max)は午前2～3時であるとし, 金子・Tjeerd(1997)も同様に日長を8時間とした場合, 暗期開始8時間後から2時間であるとしている。また, 池田ら(1969)は短日植物であるイネの効果的な暗期中断の時間帯は, 暗

期の中央より後半にあたる暗期開始 6～9 時間後であるとしている。さらに、白山・郡山(2013, 2014)は植物体が暗期中の光に敏感に反応する時間帯が存在するとし、夏秋ギクの限界日長と暗期開始から花芽分化抑制に効果の高い時間帯までの長さ(Dusk-Night Break max)の関係について考察している。夏秋ギクの各品種の Dusk-Night Break max は、品種の限界日長および限界暗期長と連動し、限界暗期長付近の暗期中断が最も花芽分化に影響を及ぼすとしており、これらを把握すれば、花芽分化抑制に効果の高い概ねの電照時間帯が推定できるとしている。本実験で用いた系統‘下関’の限界日長について、小川・松原(1982)は 14 時間と報告しており、このことは、川口ら(2005)の報告において 15 時間日長の長日処理で明らかな鱗茎の肥大促進効果がみられたことと一致する。これまでに長日植物の鱗茎の肥大促進を目的とした暗期中断の時間帯についての報告はみられないが、白山・郡山(2014)らの Dusk-Night Break max の考察に基づく、限界日長を 15 時間とした場合、限界暗期長は 9 時間と推定される。暗期中断処理を行った 1 月 1 日～3 月 22 日の暗期開始時間つまり日の入り時間は、近年おおよそ 17 時 10 分から 18 時 25 分(国立天文台, 2015)であることから、効果の高い電照の時間帯の開始時間は 2 時 10 分～3 時 25 分と推察される。これらのことから、本実験において 23～2 中断区と比較して、1～4 中断区および 3～6 中断区の掘り上げ時の鱗茎の葉鞘基部径が大きく、特に 3～6 中断区は肥大指数が大きかったことは(図 2-7)、ワケギの鱗茎肥大に効果的な暗期中断の時間帯が暗期の中央ではなく、より暗期の後半に存在することが推察された。

表 2-9 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における暗期中断の時間帯が生育および鱗茎肥大に及ぼす影響

暗期中断 時間帯	調製重 (g)	葉長 (cm)	分けつ数 (個/株)	分球数 (球)	抽苔 (本/株)	鱗葉長 (mm)	鱗茎の 乾物率 (%)
自然日長	826	60.4	84.1	23.4	11.4	18.5a ^z	17.4
23～2	766	61.5	88.0	22.5	10.9	24.5ab	28.3
1～4	739	62.5	72.6	19.3	9.4	26.3b	22.5
3～6	639	61.4	65.6	17.9	11.5	28.2b	26.1
分散分析	NS ^y	NS	NS	NS	NS	*	—

^z 同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

^y *は5%水準で有意、NSは有意差が無いことを示す

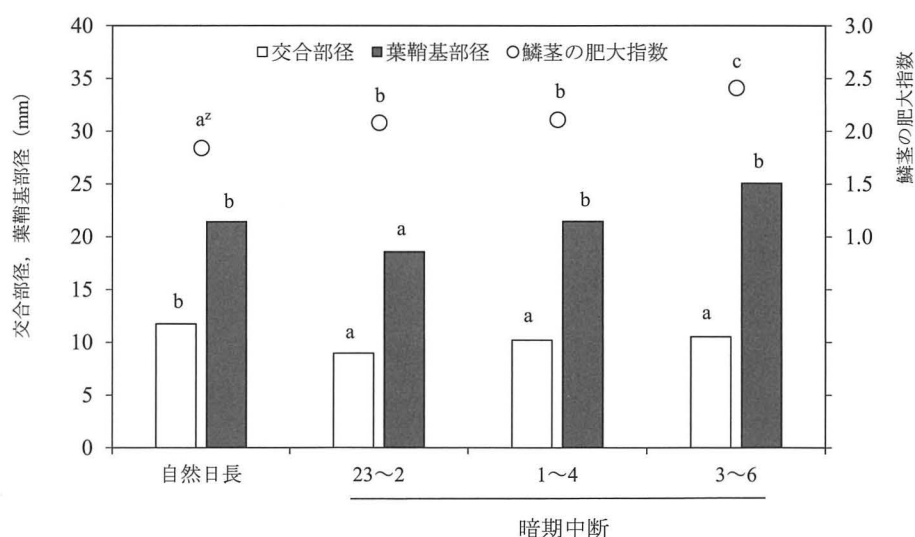


図 2-7 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における暗期中断の時間帯が交合部径、葉鞘基部径および鱗茎の肥大指数に及ぼす影響

*同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukeyの多重検定により 5%水準で有意差があることを示す

各処理区をおこなって栽培・育成した鱗茎を軒下に吊り下げて貯蔵した後の、定植時の鱗茎重量および収穫時の生育を表 2-10 に示した。定植時の鱗茎重量は、3 月定植の 23～2 中断区を除き、すべての定植および時間帯において自然日長区と比較して有意に大きかったが、暗期中断の時間帯による有意な差はみられなかった。収穫時の調製重は、3 月定植では自然日長区と比較して、23～2 中断区および 1～4 中断区が有意に大きく、5 月定植では 3～6 中断区が有意に大きかった。葉長は、3 月定植では自然日長区と比較して、23～2 中断区および 1～4 中断区で有意に大きく、5 月定植では自然日長区と比較して 3～6 中断区で有意に大きかった。分けつ数は、3 月定植では自然日長区と比較して、23～2 中断区および 1～4 中断区で有意に大きく、5 月定植では 1～4 中断区および 3～6 中断区で有意に大きかった。交合部径および葉鞘基部径は、すべての定植時期において処理による差はみられなかった。鱗茎の肥大指数は、3 月定植では自然日長区と比較して 3～6 中断区で有意に大きかった。

このように定植時の鱗茎重量は、自然日長区と比較して、3 月定植の 23～2 中断区を除いて、暗期中断したすべての処理区で大きく、収穫時の調製重、葉長および分けつ数は、3 月および 5 月定植の栽培において自然日長区と比較して暗期中断した処理区が大きい傾向にあったことから、種球栽培時の暗期中断により鱗茎の肥大充実が促進され、これを種球として定植した後の生育が旺盛となることが示唆された。ワケギ(川口ら, 2014)やユリ科のスカシユリ(藤原, 1992)においても、鱗茎や球根重量が大きいほど成長が旺盛となることが報告されており、本実験においても同様の傾向が示された。

暗期中断の時間帯による鱗茎定植後の生育への影響は、4 月定植では収穫時の生育に明確に差がみられなかったものの、軒下での吊り下げ貯蔵期間が最も長かった 5 月定植では 3～6 中断区が自然日長区と比較して調製重および葉長が有意に大きかった(表 2-10)。このことは、前述の鱗茎肥大に効果的な暗期中断の時間帯が暗期の後半に存在し、3～6 中断区ではより鱗茎が肥大充実し、軒下吊り下げ貯蔵期間中に呼吸消耗した後も重量が維持された結果、定植後の調製重も旺盛となったと考えられた。

表 2-10 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における暗期中断の時間帯が定植後の生育に及ぼす影響

定植時期 (月)	暗期中断 時間帯	定植時の 鱗茎重量 (g)	収穫時の生育					
			調製重 (g)	葉長 (cm)	分けつ数 (個/株)	交合部径 (mm)	葉鞘基部径 (mm)	鱗茎の 肥大指数
3	自然日長	4.4a ^z	47.2a	45.1a	15.9a	6.9	10.0	1.46a
	23～2	6.0ab	98.7b	54.9b	25.1b	7.2	11.2	1.57a
	1～4	7.2b	97.9b	53.4b	23.2b	7.7	11.2	1.45a
	3～6	7.6b	68.9ab	48.9a	19.4ab	6.7	12.0	1.80b
	分散分析	* ^y	*	*	*	NS	NS	*
4	自然日長	3.7a	96.9	58.0	20.5	8.2	13.0	1.62
	23～2	4.9b	102.7	58.2	20.8	8.2	12.2	1.49
	1～4	5.5b	105.4	58.2	21.5	8.4	13.0	1.55
	3～6	6.6b	115.5	57.6	20.8	8.4	12.4	1.48
	分散分析	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
5	自然日長	3.7a	93.0a	58.5a	15.2a	9.0	13.5	1.50
	23～2	4.3b	116.0ab	60.5ab	17.1ab	8.4	13.4	1.61
	1～4	4.7b	122.0ab	60.1ab	19.5b	8.5	12.6	1.49
	3～6	5.9b	125.1b	61.6b	19.1b	8.7	13.0	1.49
	分散分析	*	*	*	*	NS	NS	NS

^z 同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

^y *は5%水準で有意、NSは有意差が無いことを示す

これらのことから、暗期中断により鱗茎の肥大促進がみられ、これを初夏どり栽培の種球として定植すると収穫時の生育が旺盛になることが明らかになった。また、鱗茎肥大に効果的な暗期中断の時間帯は、鱗茎の肥大指数や鱗葉長から判断すると暗期の中央よりやや遅い時間に存在することが示唆された。さらに、これらの暗期中断の鱗茎肥大に対する効果の差は、軒下での吊り下げ

貯蔵期間が長い初夏どり栽培の後半の作型における生育に大きく影響することが示唆された。

なお、本実験は処理期間を通して暗期中断の時間帯を固定し処理を行った。処理期間中の日の出時刻はおおむね 7 時 15 分～6 時 15 分(国立天文台, 2015)であり, 3 時 00 分～6 時 00 分の暗期中断処理では, 処理期間後半の明期の時間が短かく, 3 時間の暗期中断と同等の効果が得られる 15 時間の日長延長処理と同等の処理となっていた可能性があった。

以上のことから, 初夏どり栽培用の種球栽培における暗期中断の時間帯は, 開始時間を暗期の中央よりやや遅い日没後の薄明から 9 時間後を基準とし, 処理期間の後半には処理の時間帯を早めることが必要であると判断した。

第 4 節 最低気温および加温開始時期が初夏どり栽培用の種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響

1. 緒言

ワケギの種球栽培では, 電照での長日処理による鱗茎の肥大充実に加え, 分げつおよび分球を促し, 掘り上げ時の鱗茎数つまり種球数を確保することが重要である。分げつの促進には, 長谷川ら(1979)が示したように秋季に鱗茎を定植後, 第 1 次生育期の後の冬季の低温による生育停滞を回避することが有効であると考えられる。

そこで, 初夏どり用種球栽培において, 電照栽培により鱗茎の肥大促進効果を高め, かつ, 冬季の生育停滞を回避し分げつおよび分球を促進することを目的として, 栽培中の最低気温および加温開始時期が掘り上げ時の生育および鱗茎肥大に及ぼす影響について検討した。

2. 材料および方法

2003 年 9 月 19 日に 7 号鉢(直径 21 cm)にマサ土とバーク堆肥(有機物 70%, N:P₂O₅:K₂O=1.5%:1.1%:0.4%, 久米産業(株))を 1:1(V/V)で充填し, 有機入り配合肥料(N:P₂O₅:K₂O=10%:8%:9%, 広島県製肥(株))を 1 鉢あたり 12.4 g および肥効調節型肥料(70 日溶出タイプ, N:P₂O₅:K₂O=20%:0%:13%, ジェイカムアグリ(株))を 2.8 g 混和し, 1 鉢あたりの N, P₂O₅ および K₂O の合計成分量をそれぞれ 1.8, 1.0 および 1.5 g とした。重量 6～9 g の鱗茎を 1 鉢当たり 1 球定植し, ビニルハウス内に搬入した。加温開始時期として, 11 月 10 日(以下, 11 月開始区), 12 月 10 日(以下, 12 月開始区)および 1 月 10 日(以下, 1 月開始区)の 3 区を設け, 最低気温を 2℃(以下, 2℃区)および 5℃(以下, 5℃区)を組み合わせた 6 処理区を設けた。対照区は無加温なりゆきとした。各処理区とも, 農業用暖房設備(KA-125, ネボン(株))を用いて設定した温度で加温を開始した。栽培期間中の施設内気温および地温は, 自記温度計(カードロガー, MR56011, (株)CHINO)により 1 時間間隔で計測した。各処理区 1 区 10 株とし, 葉長, 交合部径および葉鞘基部径は, 各株の葉長が最も長い分げつについて調査した。分球は八鍬(1963)の報告に従い, 肥大期までに分げつを繰り返し二つ以上の生長点が平行して分化した後, 葉鞘部が肥大し外観的にも明瞭に個体が分かれた時点で分球とみなした。

2004 年 3 月 16 日に処理を終了し, 株を掘り上げ, 生育および鱗茎の肥大状況を調査した。なお, 供試品種, 実験場所, 調製重, 鱗茎の肥大指数および鱗葉の調査は第 1 節第 1 項と同様の方法とした。

3. 結果および考察

栽培期間中の各処理区の日平均気温および日最低気温の推移を図 2-8 に示した。栽培期間中の日平均気温の月別の平均値は, 2℃区では 11～3 月が順に 12.6, 8.0, 6.7, 9.0 および 9.4℃, 5℃区では順に 13.5, 9.7, 9.1, 10.9 および 11.2℃, 対照区では順に 12.2, 7.0, 5.0, 7.3 および 8.4℃であった(図 2-8A)。また, 日最低気温の月別の平均値は, 2℃区では 11～3 月が順に 7.3, 3.5, 3.1, 2.9 および 3.8℃, 5℃区では順に 8.8, 5.7, 5.8, 6.6 および 7.4℃, 対照区では順に 5.3, -1.1, -4.2, -3.2 および -2.1℃であった(図 2-8B)。

株の掘り上げ時の調製重および分球数を図 2-9 に, その他の生育状況を表 2-11 に示した。調製重は, 対照区と比較してすべての処理区で有意に大きく, 特に 11 月開始区および 12 月開始区の 5℃区で大きかった。葉長は, 対照区と比較してすべての処

理区で有意に大きく、最低気温が高いほど大きい傾向にあった。分げつ数および分球数は、対照区と比較して 11 月開始区および 12 月開始区の 5℃区で有意に大きかった。交合部径、葉鞘基部径および鱗茎の肥大指数は、加温開始時期および最低気温による有意な差はみられなかった。鱗葉長は、対照区と比較して 11 月開始区の 2℃区およびすべての加温開始時期の 5℃区で有意に大きかった。鱗茎の乾物率は、対照区では 17.1%で、その他の処理区では 11.5～13.7%であった。ワケギとネギ(八鍬, 2008)およびタマネギ(加藤, 1993)は冷涼な気候を好み、葉の伸長および結球などの適温は 15～25℃とされている。また、高樹(1987)はアサツキの生育の様相および葉と根の成長力の季節的変動について検討し、根および葉の生長適温はそれぞれ 21～25℃および 17～25℃であり、これに近い気温となる 9～10 月に成長が旺盛となり、その後の気温の低下に伴い 12～1 月には成長力が低下して強制休眠に入り、1 月下旬以降は気温の上昇に伴い再び葉の成長力が増すと述べている。長谷川ら(1979)の報告から、ワケギもアサツキと同様の季節的な変動を示すと考えられる。本実験において、対照区と比較してすべての処理区で調製重、葉長および分げつ数が大きく、その値は最低気温が高いほど大きかった(表 2-11)ことは、栽培期間中の最低気温を高く維持することにより、気温の低下による強制休眠を回避し、生育に適した気温の遭遇時間が維持されたことに起因すると考えられた。また、加温開始時期については、5℃加温の場合には、1 月開始と比較して 11 月および 12 月開始区で調製重が大きかった。また、2℃加温では 1 月開始と 11 月開始との間に有意差はみられなかったが、12 月開始と 1 月開始との間には有意な差が認められた(表 2-9)。このことは、12 月上旬から急激な気温の低下(図 2-8A)がみられたことから、1 月開始区での 12 月上旬から加温開始までの期間の低温により、生長が停滞したためと考えられた。

低温条件と鱗茎肥大の関係について、山崎(2003)は秋季にワケギ鱗茎を定植した後は、低温のみでは鱗茎形成を誘導できないが、冬季の 1～10℃の低温遭遇により、その後の鱗茎形成の誘導に必要な長日の期間が短縮されたとしている。このことは、ワケギが低温遭遇することで、グリーンバーナリゼーションを受ける(小川・松原, 1982)と同時に、日長に対する感受性が高まり(山崎, 2003)、長日に反応しやすい生理状態となり(大久保ら, 1981)、長日条件による鱗茎肥大がより助長され、その後の適温により鱗茎の肥大充実と抽苔までの生育が進むためとされている。これらの低温による鱗茎や球根形成の誘導効果は、ニンニク(高樹・青葉, 1977)のほか、球根アイリス(青葉, 1974b)やチューリップ(青葉, 1976)においても報告されており、秋季に定植後、春季および初夏に球根を形成する球根類に共通した特性と考えられる。本実験においてもすべての処理区で冬季の低温に遭遇しており、その後の春季の長日に対する感受性が高い生理状態にあり、鱗茎肥大が速やかに誘導されたと考えられた。

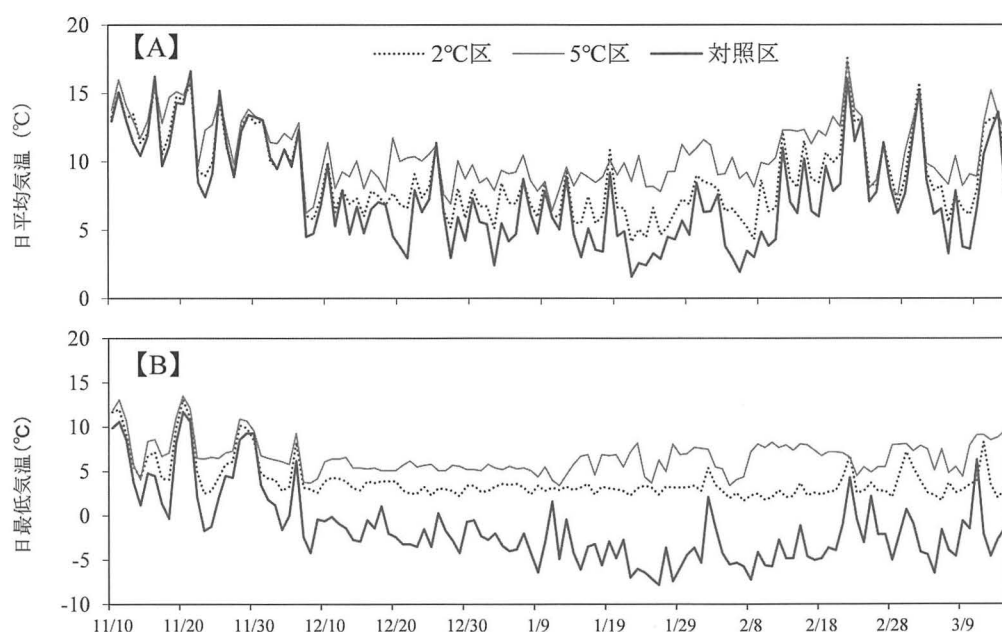


図 2-8 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における加温温度が日平均気温【A】および日最低気温【B】の推移に及ぼす影響

鱗茎形成が誘導された後の鱗茎肥大は、日照時間、温度および窒素の施用量が大きく関与し、これらを適正な条件とすることで、鱗葉の肥大初期にあたる第二次生育期の生育を促し、鱗茎の肥大充実が図られるとしている(長谷川ら, 1979)。本実験において、すべての処理区で対照区と比較して調製重、葉長および鱗葉長が大きく(表 2-11)、その効果は 2℃と比較して 5℃で大きかったが、加温開始時期が 1 月まで遅れると調製重の増加程度が小さい傾向にあった。このことは、最低気温が高く、加温開始時期が早いほど冬季の低温による生育停滞を回避し、第二次生育期に移行することで、分げつ数、分球数および葉の同化能力を促し、鱗葉の生長と鱗茎の肥大が促進されたためと考えられた。

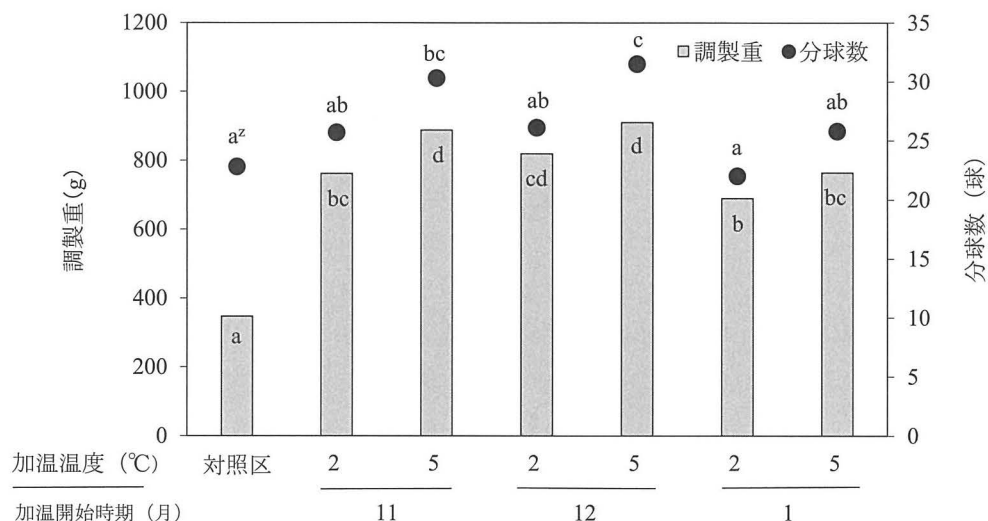


図 2-9 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における最低気温および加温開始時期が調製重および分球数に及ぼす影響

*同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukey の多重検定により 5%水準で有意差があることを示す

表 2-11 ワケギ初夏どり栽培用の種球栽培における最低気温および加温開始時期が生育に及ぼす影響

加温開始時期 (月)	加温温度 (℃)	葉長 (cm)	分げつ (個/株)	交合部径 (mm)	葉鞘 基部径 (mm)	鱗茎の 肥大指数 ^z	鱗葉長 (mm)	鱗茎の 乾物率 (%)
対照		34.9a ^y	63.1a	9.7	19.4	2.01	2.6a	17.1
11	2	58.2b	73.8ab	10.3	18.7	1.83	11.1b	12.9
	5	63.0cd	84.3b	10.4	20.6	2.01	20.4c	13.3
12	2	62.6cd	75.0ab	10.9	18.5	1.70	9.6ab	12.6
	5	64.7d	91.8b	9.8	18.5	1.93	19.4c	13.7
1	2	60.8bc	60.9a	9.9	18.5	1.89	9.5ab	11.5
	5	62.9cd	79.0ab	10.7	20.5	1.93	19.1c	13.4
分散分析		* ^x	*	NS	NS	NS	*	—

^z 葉鞘基部径/交合部径

^y 同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

*は5%水準で有意、NSは有意差が無いことを示す

高市ら(2007)は、林ら(1986)の報告を基に、温室の形状や被覆資材の種類、カーテンの有無等の様々な条件に対応して、温室の暖房燃料消費量を算出できる温室暖房燃料消費量試算ツールを作成し国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のホームページに掲載している。このツールを利用し、総熱量の計算に用いる暖房デグリーアワー(算出条件:間口 6 m, 奥行き 40 m, 単棟, PO1 層, 地中電熱:暖地+10℃, 燃料:灯油)を算出すると、最低気温 0℃ではいずれの加温開始時期でも 0 ($\times 10^6 \text{ K}\cdot\text{s}$), 最低気温 2℃では 11 月開始区および 12 月開始区で 0.4, 1 月開始区で 0.3 ($\times 10^6 \text{ K}\cdot\text{s}$)であったのに対し、最低気温 5℃とすると 11 月開始区, 12 月開始区および 1 月開始区でそれぞれ 7.6, 7.5 および 5.8 ($\times 10^6 \text{ K}\cdot\text{s}$)と顕著に大きかった。このことから、広島県において最低気温を 5℃に維持することは、最低気温 2℃と比較して大幅に燃料消費量が増加することが予想される。

以上のことから、加温開始時期は 1 月上旬では収穫時の調製重や分球数が他の処理区と比較して劣ることから、12 月上旬以前とするのが適当である。加温温度については、11 月開始区および 12 月開始区の 5℃区で明らかな分球数の増加がみられた。一方、2℃区においても対照区と比較して生育が旺盛であり、11 月開始区においては 2℃区と 5℃区では分球数に有意差がみられなかったことから、加温に必要な燃油量のコストを考慮すると、加温温度を 2℃とするのが実用的であると考えられた。

第 5 節 結論

ワケギの初夏どり栽培用の種球栽培において、3 月の掘り上げ時の鱗茎の肥大充実を促すため、電照による有効な長日処理方法について検討した。

第 1 節第 1 項では、長日処理の光源および土壌表面の光合成有効光量子束密度 (PPFD) が鱗茎の肥大に及ぼす影響を検討し、さらにその鱗茎を種球として定植した後の生育について検討した。その結果、各光源を用いた長日処理により PPFD が大きいほど掘り上げ時の鱗茎肥大が促進され、定植後の生育が旺盛となった。ワケギの鱗茎肥大の促進に有効な光源は白熱電球が適しており、PPFD は慣行の 10 月定植、5 月掘り上げの鱗茎の肥大指数と同等の 2.5 以上となる $0.5 \sim 2.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とするのが有効であると判断した。なお、実際栽培で白熱電球を用いた土壌表面の PPFD を $0.5 \sim 1.2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とするには、90 W 白熱電球を土壌表面から 1.5 m の高さに 1 a 当たり 25 球設置することで再現できる。

第 2 項では、長日処理時の光源として有効であった白熱電球に加え、同属の品目で鱗茎肥大を促すとされる遠赤色光の付加がワケギの鱗茎肥大に及ぼす影響について検討した。その結果、白熱電球への遠赤色光の付加により、掘り上げ貯蔵後の定植時における鱗茎重量の増加がみられたが、タマネギ(寺分, 1965, 1970, 1978)やニンニク(寺分, 1970, 1978)の報告でみられる鱗葉長および鱗茎の肥大指数の増加等の鱗茎肥大の促進には至らなかった。このことから、白熱電球への遠赤色光の付加は、鱗茎肥大の促進効果が明確でなかったこと、LED の初期投資が高価であることから判断し、現状では初期投資が少ない白熱電球を用いることとし、今後の LED 等の電照機器の価格低下に伴い、明らかにした光質と鱗茎肥大との関係を活用することとした。

第 2 節では、第 1 項において長日処理としての日長延長および電照時間の短縮を目的とした暗期中断、第 2 項では、長日処理の開始時期が種球栽培における鱗茎肥大に及ぼす影響を検討した。その結果、‘広島 1 号’では 15～16 時間の日長延長により鱗茎の肥大充実を促し、定植後の初期生育が旺盛となり 3～4 時間の暗期中断によっても、同等の効果が得られ、暗期中断処理による電気代縮減の可能性が示唆された。また、16 時間の日長延長の処理期間について、処理開始が早く長いほど鱗茎の肥大指数は高まるが、処理期間が 60 および 40 日と短いと鱗茎肥大が劣り、さらに 40 日では定植時の鱗茎重量が小さかったことから、遅くとも 1 月 1 日から処理を開始し処理期間を 80 日とすることが適当であると判断した。

第 3 節では、長日処理として 15 時間日長の日長延長と同等の鱗茎の肥大促進効果が得られる 3 時間の暗期中断について、処理の時間帯が鱗茎肥大に及ぼす影響について検討した。その結果、鱗茎肥大に効果的な暗期中断の時間帯は、開始時間を暗期の中央よりやや遅い日没後の薄明から 9 時間後を基準とし、処理期間の後半には処理の時間帯を早めることが必要であると判断した。

第 4 節では、種球栽培では鱗茎の肥大充実とともに、冬季の生育停滞を回避し分けつおよび分球を促し、掘り上げ時の鱗茎数

を確保することが重要であることから、栽培中の最低気温および加温開始時期が掘り上げ時の生育および鱗茎肥大に及ぼす影響について検討した。その結果、最低気温が高いほど、また加温開始時期が早いほど生育が旺盛となり、このことは、加温により冬季の休眠状態を回避し、第2次生育期における分げつおよび葉の同化能力を増加したためと考えられた。また、加温は1月上旬では調製重や分球数の増加が劣ることから12月上旬に開始し、最低気温は加温に必要な燃油量のコストも考慮し2～5℃とするのが適当であると判断した。

第3章 鱗茎の軒下吊り下げ貯蔵における種球品質と低温貯蔵技術の開発

ワケギ鱗茎の増殖は、春どり栽培と同様に秋季に定植した鱗茎が、第一次生育期、冬季の低温による生育停滞期および翌年の第二次生育期を経て数十に分げつすることを利用して行われる。生産者は、その後の春季の長日に誘起されて肥大充実した休眠中の鱗茎を掘り上げる(長谷川ら, 1979)。その後、10~20 球の鱗茎を交互に紐で数珠つなぎに結束し、軒下に吊り下げて貯蔵し、6~12 月の間、夏どり栽培、秋どり栽培、冬どり栽培および春どり栽培用の種球として随時使用する。しかし、貯蔵期間が長くなるにつれて鱗茎は乾燥し、柔細胞の減少に伴い繊維が残り、スポンジ状に萎縮した状態(以下、軟化、図 3-1)となる。このように軟化した鱗茎を定植しても萌芽時期が揃わず、その後の生育も不良になるため、春どり栽培用の最終定植時期となる年末には、利用できる鱗茎が極めて少ない状況となる。

鱗茎の貯蔵期間中の軟化について、ユリ科のチューリップでは、栽培期間中とは異なり根などからの養分補給がなく、自らの貯蔵養分を呼吸で消費するためと報告されている(吉野, 1967)。また、タマネギでも貯蔵養分として鱗茎に蓄積されている糖が貯蔵中の呼吸により消費され、糖濃度の低下、萌芽の遅れおよび腐敗を招くとされている(加藤, 1981)。ワケギ鱗茎の貯蔵期間中の重量減少などの原因についても、タマネギでみられる灰色腐敗病、軟腐病および黒かび病など(大西ら, 1981)とは異なり、吉野(1967)や加藤(1981)の報告と同様の呼吸による消耗が生じていると考えられるが、詳細な研究はみあたらない。

そこで、本章では年内の定植に利用可能な鱗茎割合の向上を目的として、慣行の軒下への吊り下げ貯蔵におけるワケギ鱗茎の品質変化を明らかにし、低温貯蔵を中心とした貯蔵方法の改善に取り組んだ。第 1 節では、慣行の軒下への吊り下げ貯蔵におけるワケギ鱗茎の重量、軟化、糖含有率などの経時的な品質変化に加えて、貯蔵時の遮光が鱗茎の種球品質に及ぼす影響を検討した。第 2 節では、軒下吊り下げ貯蔵中の鱗茎の品質低下が激しい期間における低温貯蔵と貯蔵中の湿度を維持するための包装方法について検討した。第 3 節では、鱗茎の低温貯蔵により鱗葉が発生し定植後の生育が劣ることが懸念されるため、低温貯蔵後の予措処理による生育への影響について検討した。さらに第 4 節では、既存の予冷库内をワケギ鱗茎の貯蔵に好適な湿度条件とするため、庫内での除湿機の稼働時間が庫内湿度に及ぼす影響について検討した。

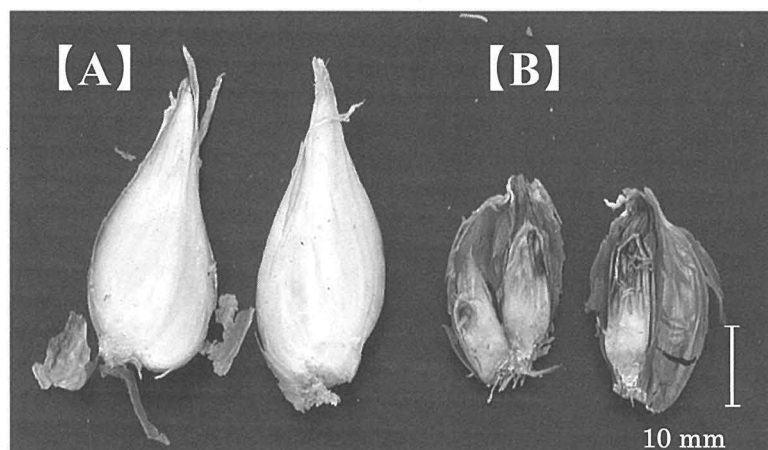


図 3-1 掘り上げ直後のワケギ鱗茎【A】と貯蔵中に軟化した鱗茎【B】
(2008 年 9 月 16 日撮影)

第1節 鱗茎の軒下吊り下げ貯蔵における遮光が鱗茎の種球品質に及ぼす影響

1. 緒言

慣行の軒下への吊り下げ貯蔵において、年内の定植に利用可能な鱗茎割合の向上を目的として、鱗茎の重量、軟化、糖含有率などの経時的な変化を明らかにするとともに、貯蔵時の遮光が鱗茎の品質変化に及ぼす影響を検討した。

2. 材料および方法

2005年10月6日に広島県立総合技術研究所農業技術センター(広島県東広島市八本松町、北緯34度27分、東経132度43分)のビニルハウス(間口7.2 m、奥行き45 m)内に、低温伸長性が強く(丸山ら, 1988)広島県の冬どりおよび春どり栽培の主要品種である(長谷川ら, 1981)ウイルスフリー化した‘寒知らず’晩生系統のワケギ‘広島3号’を、畝幅1.4 m、条間20 cm、株間25 cmとして1 a当たり570球定植した。土壌のECが $0.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ であったため、圃場への施肥は行わず、バーク堆肥(有機物70%, $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=1.5\%:1.1\%:0.4\%$, 久米産業(株)) $500 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ のみを混和した。栽培期間中は、畝面から深さ10 cmの土壌水分張力がpF 2.1に達した時点を灌水開始点とし、畝面に敷設した灌水チューブにより、1回当たり5 mm相当量を灌水した。ビニルハウス内の株の鱗茎が肥大し、地上部がほとんど倒伏した2006年5月12日に掘り上げ、3日間畝の上で風乾した。その後、株を分割し、鱗茎13~18球を一塊となるよう葉身部分を麻ひもで結束後、殺菌剤(ベノミル水和剤500倍液, (株)住友化学)に約30分間浸漬し、再度風乾した。5月19日にスレート屋根と足場鋼管(直径48.6 mm)で組んだ枠の高さ約110~160 cmに吊り下げた(図3-2)。試験区として、遮光率60%の黒寒冷紗で貯蔵場所の周囲を被覆した遮光区および寒冷紗による遮光を行わない対照区を設けた。鱗茎の吊り下げ貯蔵開始後の5月31日から12月25日まで、約1週間ごとに鱗茎の重量、軟化、発根および萌芽がみられた鱗茎数を調査した。調査は13~18分球が1反復で両区とも6反復とし、前述のとおり手指で鱗茎を把持した時に乾燥してスポンジ状と



図3-2 ワケギ鱗茎の軒下吊り下げ貯蔵の状況(2006年7月24日撮影)

なっている状態を‘鱗茎の軟化’とし、鱗茎の上部から葉身の伸長がみられた状態を‘萌芽’とした。なお、本実験では灰色腐敗病、軟腐病や黒かび病など(大西ら, 1981)は認められなかった。部位別の重量割合は、経時的な重量変化の調査とは別に、鱗茎を約 15 球ずつに分けて交互に紐で数珠つなぎに結束した後、吊り下げて貯蔵し、1 週間ごとに著しい萌芽が無く軟化していない鱗茎を無作為に 5 球ずつ取り出し、葉身、鱗茎および根部に分解して重量を計測し、各部位の重量の減少割合を算出した。その後、鱗茎は呼吸により CO₂ の生成および放出がわずかにみられるが、その量が小さいことから見かけの放出速度である CO₂ 交換速度が鱗茎の呼吸活性を強く反映していると判断し、呼吸速度の目安(渋谷, 2014)として、CO₂ 交換速度を測定した。すなわち、プラスチック製の密閉容器(7 L)に鱗茎と赤外線吸収式 CO₂ センサー(Telaire7001D, (株)Telaire)を同梱した閉鎖式チャンバー法により、9~15 時までの 6 時間の容器内の CO₂ 濃度を測定した後、鱗茎 1 g の 1 時間当たりの CO₂ 増加量を算出し、チャンバー内における CO₂ 変化速度を求めた。さらに、容器から鱗茎を取り出し、60℃に設定した通風乾燥機で 72 時間乾燥し、乾物重を計測後、アントロン硫酸法(羽柴・金浜, 2002)により糖含有率を測定した。吊り下げ貯蔵中の気温および相対湿度は、自記温湿度計(TR-72U, (株)ティアンドデイ)により 10 分ごとに計測した。また、全天放射照度は短波放射計(MS-42, (株)英弘精機)により計測するとともに、吊り下げられた鱗茎付近の照度を照度計(T-10A, (株)KONICA MINOLTA)で数回計測し採光率を算出し、これを全天放射照度に乘じて各処理区の経時的な放射照度とした。鱗茎の内部温度は 2006 年 6 月に 2005 年と同じ処理区を設置し、吊り下げ貯蔵している鱗茎に直径 4 mm のコルクボーラーで穴を開け、自記温湿度計(TR-72U, (株)ティアンドデイ)のセンサー部を挿入して計測した。なお、計測期間中の鱗茎へのセンサー挿入による枯死などの顕著な変化はみられなかった。

3. 結果および考察

処理期間中の日平均気温および相対湿度の推移を図 3-3 に示した。処理期間中の日平均気温の最高値、平均値および最低値はそれぞれ、対照区で 30.3℃, 20.2℃および 3.8℃, 遮光区で 29.9℃, 19.6℃および 3.1℃であった(図 3-3A)。相対湿度の最高値、平均値および最低値はそれぞれ、対照区で 98.5%, 74.2%および 50.6%, 遮光区で 98.8%, 75.6%および 53.0%であった。遮光区では対照区と比較して処理期間中の平均気温が 0.6℃低く、平均相対湿度が 1.4%高かった。処理期間中の両区の放射照度は、全天の値と比較して対照区で約 50%, 遮光区で約 17%であった(図 3-3B)。

軒下吊り下げ貯蔵中の鱗茎内部の温度の推移を図 3-4 に示した。最高気温は、対照区の方が遮光区と比較して高く推移した。調査期間中の鱗茎内部温度の日最高値、日平均値および日最低値はそれぞれ、対照区で 25.6~31.4℃, 18.9~22.4℃および 12.5~17.6℃, 遮光区で 23.9~31.0℃, 18.6~22.2℃および 12.8~17.5℃であった。処理開始時の 1 球当たりの部位別の平均重量は、対照区の鱗茎が 12.4 g, 葉身が 3.3 g および根が 0.4 g, 遮光区の鱗茎が 12.2 g, 葉身が 4.0 g および根が 0.3 g であった(データ省略)。葉身の重量は吊り下げ貯蔵開始直後から急激に減少したが、その後大きな変化はみられなかった。根重は処理期間を通して大きな変化はみられなかった(データ省略)。

処理期間中の鱗茎の重量変化を図 3-5A に示した。処理期間中の鱗茎重量は、両区とも貯蔵開始直後から急激に減少した後は緩やかに減少し、7 月下旬から 9 月下旬にかけて再度減少が速まり、その後、10 月上旬から年末まで緩やかに減少した。12 月 25 日の処理終了時の処理開始時に対する鱗茎の重量割合は、対照区で約 25%, 遮光区で約 35%であり、遮光区の方が約 10%大きかった。鱗茎の萌芽は、両区とも 9 月上旬からみられ、その後も処理終了時まで増加した(図 3-5B)。また、遮光区の萌芽率は、11 月上旬から対照区と比較して高く推移した。鱗茎の軟化は、両区とも 9 月上旬頃から発生し始め、それ以降は急激に増加し、その後も処理終了時まで増加し続けた(図 3-5C)。また、処理期間中の軟化鱗茎の発生率は、遮光区の方が対照区と比較して低く推移し、処理終了時の累積発生割合は対照区で 75%, 遮光区で 55%であり、遮光区の方が 20%低かった。

処理期間中の鱗茎の CO₂ 交換速度の推移を図 3-6 に示した。鱗茎の CO₂ 交換速度は、調査日により気温および調査個体が異なり計測値に多少のばらつきがみられたが、9 月上旬には両区とも 1500~2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ に増加し、その後一旦低下した。さらに、10 月上旬から下旬にかけて一時増加し、再び低下した。特に対照区では、9 月上旬から 10 月下旬までの間 1100~2450 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ と遮光区と比較して高く推移した。

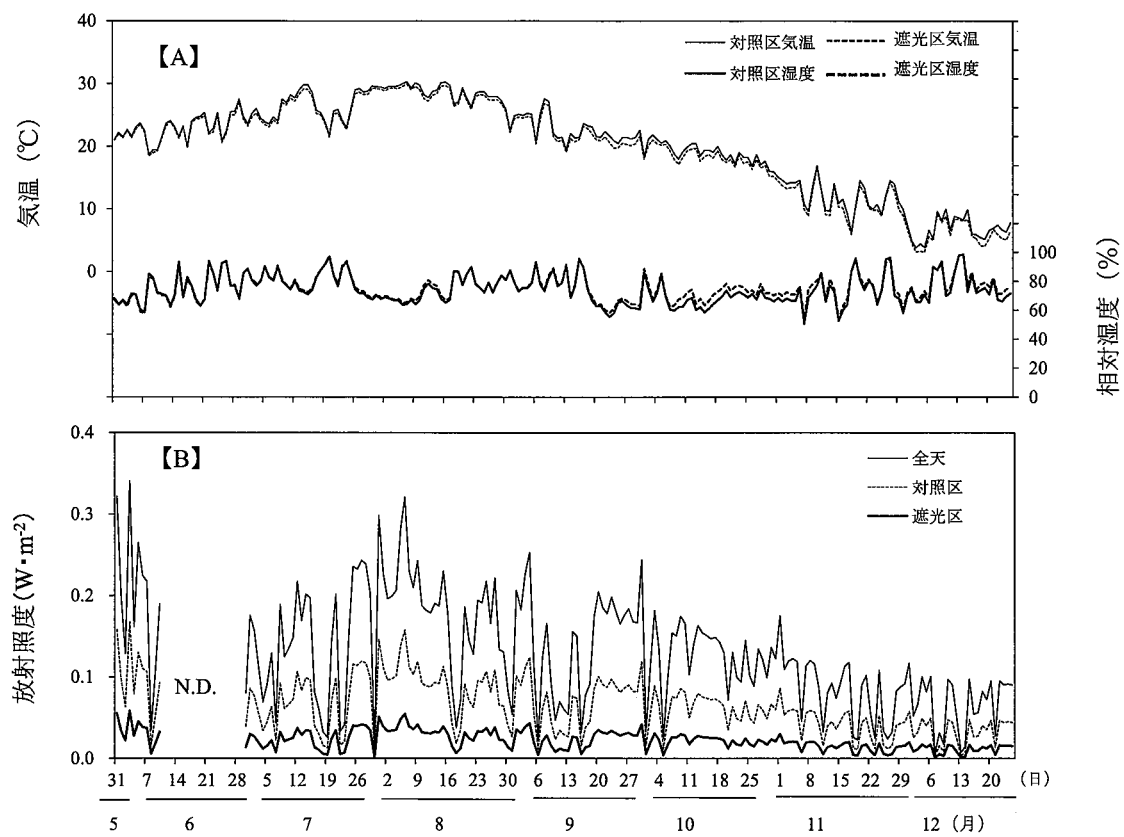


図 3-3 軒下吊り下げ貯蔵中の気温, 相対湿度【A】および放射照度【B】の推移
N.D.はデータなし

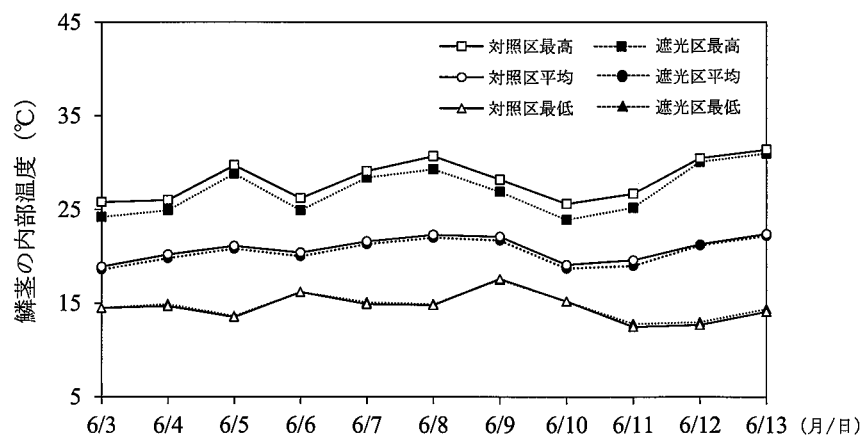


図 3-4 軒下吊り下げ貯蔵中の遮光がワケギ鱗茎の内部温度に及ぼす影響

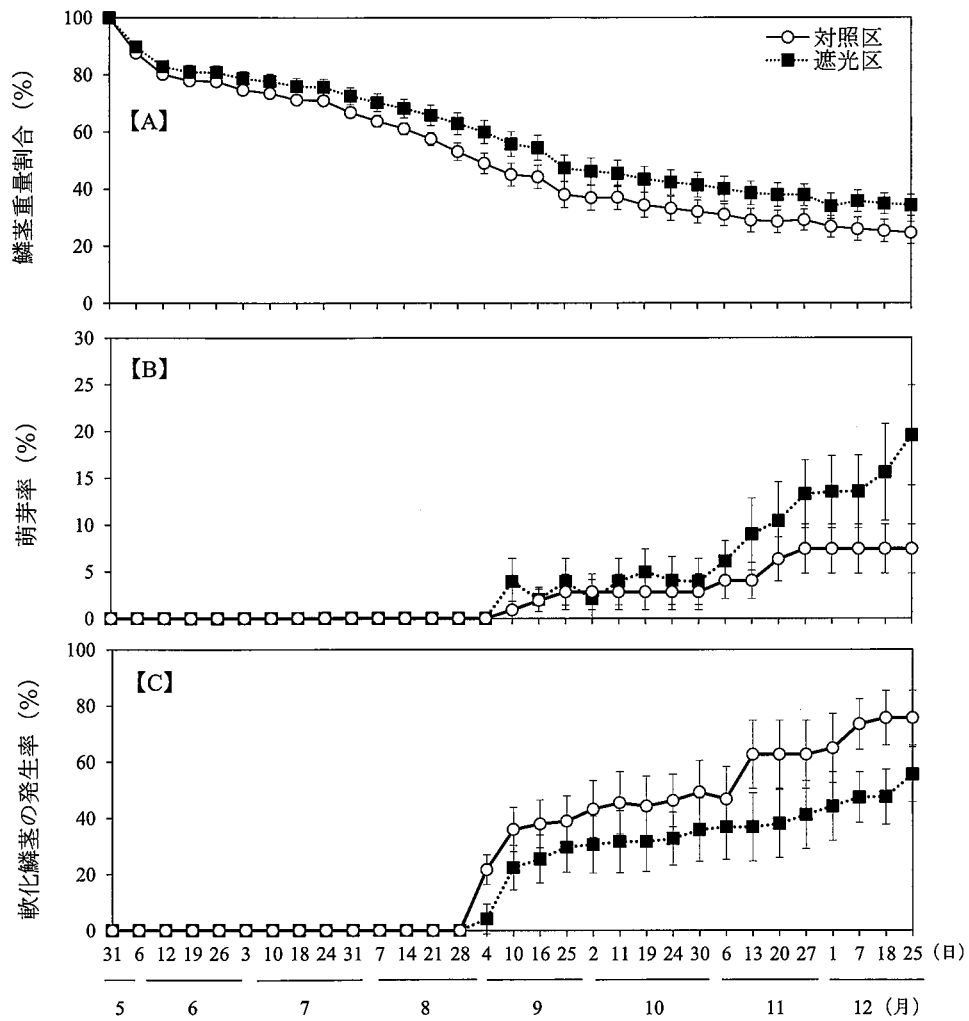


図 3-5 軒下吊り下げ貯蔵中の遮光がワケギ鱈茎の重量変化【A】、萌芽率【B】および軟化の発生率【C】に及ぼす影響

図中の垂線は標準誤差(n=6)を示す

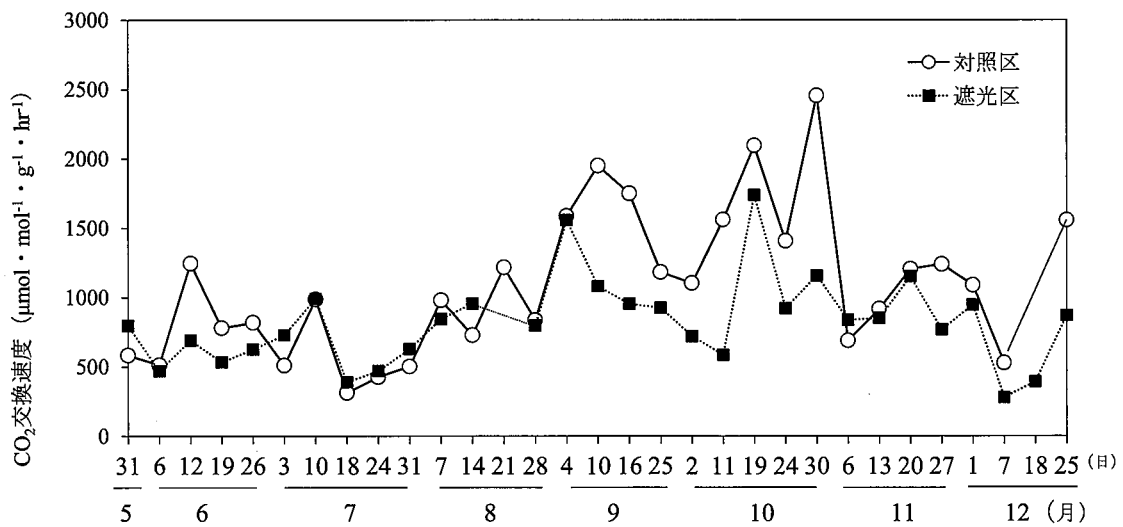


図 3-6 軒下吊り下げ貯蔵中の遮光が鱈茎の CO₂ 交換速度に及ぼす影響

処理期間中の鱗茎の全糖含有率を図 3-7 に示した。処理期間中の鱗茎の全糖含有率は、CO₂ 交換速度と同様に調査個体が異なり分析値にばらつきがみられた。両区とも 5 月下旬は生体で 0.15~0.18%, 乾物で 0.59~0.64%であったが、6 月中旬には生体で 0.09~0.10%, 乾物で 0.36~0.38%となり大幅に低下した(図 3-7A)。その後、生体および乾物ともに一旦上昇し、8 月下旬まで大きな変動はみられず、調査終了時まで徐々に低下した。特に 8 月中は、遮光区の全糖含有率が対照区と比較して生体および乾物とも顕著に高かった。生体では 9 月中、乾物では 9 月中旬に遮光区が対照区と比較して低く推移したが、9 月下旬以降は概ね遮光区がやや高く推移した。処理期間中の鱗茎の乾物率は、いずれの区も貯蔵開始直後の 5 月下旬から 6 月上旬は若干低めに推移した(図 3-7B)。その後、対照区では 6 月下旬および 7 月中旬に高かったが、それ以降は定常状態にあった。一方で、遮光区では、概ね対照区と比較して乾物率が高く、特に 8 月上旬から 9 月上旬にかけて高かった。

ワケギ鱗茎の内容物質としては、越冬後、春にかけての組織含水量の低下に伴って蓄積された還元糖(田口, 1948)や、日長に誘起され充実肥大した鱗茎に重合度 3~8 程度のフルクタンが多く蓄積されている(山崎, 2003)。本実験における鱗茎の貯蔵開始時期は 5 月で、鱗茎が十分に充実していた時期であり(長谷川ら, 1979)、還元糖の蓄積が進んだ状態であると推測される。掘り上げ後の鱗茎の軒下への吊り下げ貯蔵中の重量の変化は、ネギ属に属するタマネギと同様、鱗茎内の水分が蒸発(玉木ら, 2002)するとともに、鱗茎に貯蔵養分として蓄積されている糖が貯蔵中の呼吸により消耗(加藤, 1965, 1981)することに起因すると考えられる。ワケギと同属のタマネギ(青葉, 1964; 緒方, 1952)、ニンニク(山崎ら, 2010)およびアヤメ科ダッチアイリス(Kamerbeek, 1962)では、鱗茎を掘り上げた直後に CO₂ 排出量や呼吸速度が大きく上昇する。タマネギ(青葉, 1963)では、乾燥により含水率が低下すると同時に葉身の養分が鱗茎に転流し、葉身の枯死とともに徐々に CO₂ 排出量や呼吸速度が低下して安定状態に達する。しかし、本実験では鱗茎の掘り上げ直後の CO₂ 交換速度が明らかではないものの、これらの報告と異なる。すなわち、軒下で 5 月に吊り下げ貯蔵を開始した直後に若干の CO₂ 交換速度の低下がみられたが、その後 6 月上旬までの 2 週間は遮光の有無に関わらず CO₂ 交換速度が一時的に増加し(図 3-6)、糖含有率が大幅に低下した(図 3-7A)。この一連の変化は、葉身の急激な枯死による鱗茎の重量低下がみられた時期(図 3-5A)と一致する。本実験では掘り上げ後も 6 月上旬までは葉身が枯死し呼吸速度が低下する状態に至っておらず、葉身の養水分の鱗茎への転流、一時的な鱗茎の含水率の変化、呼吸量の増加と糖濃度の低下が誘起されと考えられる。その後、6 月中旬の葉身の枯死に伴い鱗茎への養分転流が停止し、CO₂ 交換速度が低下し鱗茎の乾物率と全糖含有率が増加する時期に移行したと推察される。タマネギは、春季の球の肥大充実後、成熟に伴いガス代謝量が減少して最低値に達し、成長抑制物質を多く蓄積した状態で休眠に入る(加藤, 1965, 1981; 緒方ら, 1960)。一定期間の休眠の後に生じる呼吸量および鱗茎内のエチレンの増加に伴い、オーキシシンおよびジベレリン代謝が活発となり休眠が打破され、萌芽を開始する時期に呼吸量が最大に達する(加藤, 1981)。8 月 15 日以降に呼吸量が増加し始め、11 月 1 日には収穫前と同等になるとしている(加藤, 1981)。休眠について加藤(1965)は、タマネギの収穫後約 1 か月間は自発休眠(Endodormancy)、その後 60~70 日間は夏季の高温と乾燥による他発休眠(Ecodormancy)に当たるとしている。ワケギは、秋季の鱗茎定植後の第一次生育期、生育停滞期および第二次生育期を経て、タマネギと同様に長日条件に誘起され鱗茎の肥大充実期に至る(長谷川ら, 1979)。また、休眠期間やその後の萌芽期は近縁のタマネギと同じ様相を示し、休眠は鱗茎が肥大して株が倒伏した後の 6 月中下旬までの約 50~60 日間であり、その短縮には 30℃の高温処理が有効とされている(長谷川ら, 1981)。本実験においても、貯蔵開始直後に鱗茎の葉身が枯死することによる急激な重量の減少(図 3-5A)がみられた後は、CO₂ 交換速度が概ね 1000 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 以下であり(図 3-6)、鱗茎の全糖含有率が乾物で 0.5%以上であった(図 3-7)。これらのことから、5 月に掘り上げて貯蔵しているワケギ鱗茎も、タマネギの休眠時のガス代謝量が減少し安定した状態と同様、自発休眠および他発休眠を含めた休眠中であつたと考えられる。その後は、7 月下旬頃より鱗茎重量が急激に減少し始め、8 月中旬頃からは CO₂ 交換速度の増加(図 3-6)と鱗茎の全糖含有率の低下(図 3-7)がみられ始めたことから、タマネギの休眠打破後の呼吸量増加と同様の現象が起こっていると考えられ、休眠の打破時期は概ね 8 月中旬頃と推察される。

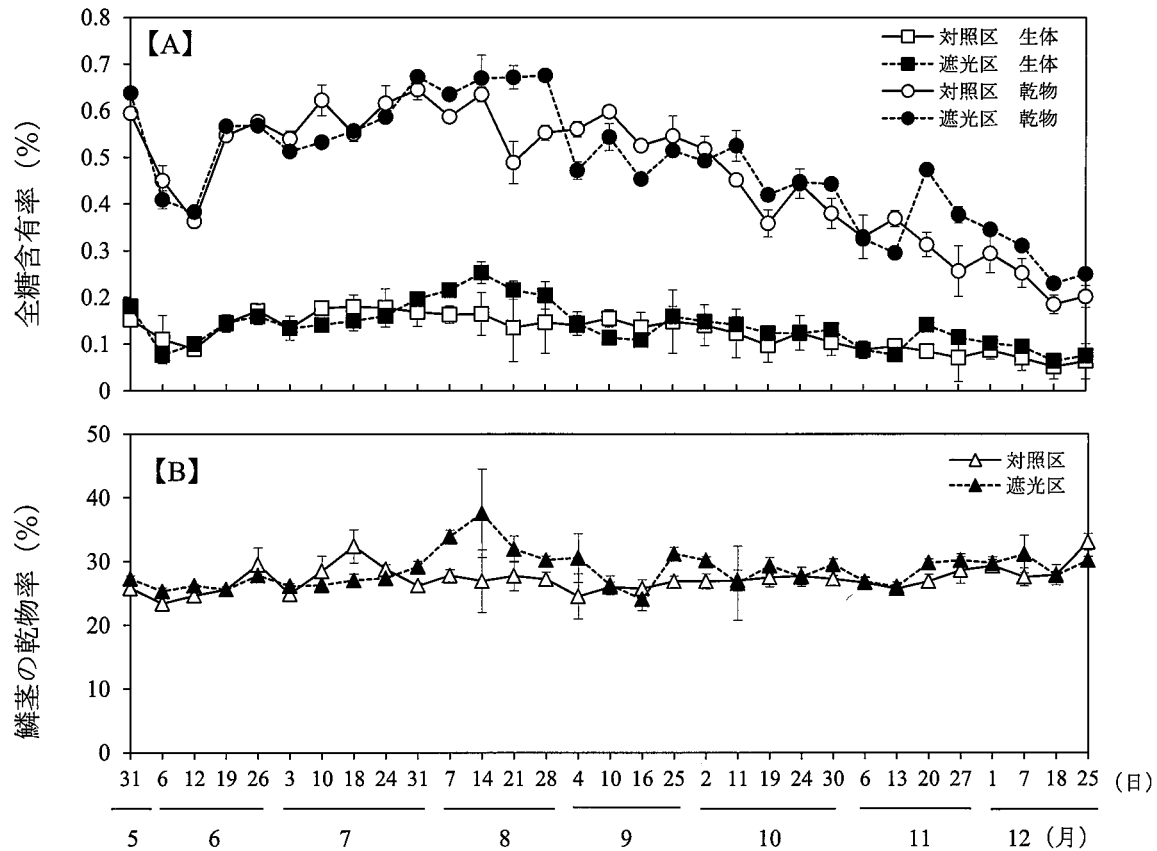


図 3-7 軒下吊り下げ貯蔵中の遮光がワケギ鱗茎の全糖含有率【A】と乾物率【B】に及ぼす影響

図中の垂線は標準誤差 (n=5) を示す

貯蔵期間中の遮光処理による鱗茎の重量、軟化および萌芽への影響について、一般に野菜類の貯蔵時の呼吸量は、限界温度以下では環境温度が高いほど大きい(大久保ら, 1998). また、その限界温度はおおよそ 32~35℃であり、それ以上では呼吸量がむしろ減少する(村田ら, 1993). 休眠打破後のタマネギ(村田ら, 1993)およびチューリップの球根(吉野, 1967)では、それぞれ 0~25℃および 20~30℃の範囲において貯蔵温度が高いほど呼吸量が増加するとされているが、タマネギ(青葉, 1964)は 30℃, ニンニク(山崎ら, 2003, 2010)は 25~35℃で萌芽抑制に伴う CO₂ 排出量や呼吸速度の低下がみられる. これらのことから、同属のワケギ鱗茎の貯蔵時の限界温度は概ね 25~30℃の範囲にあると推察される. 本実験においては、CO₂ 交換速度が増加した 8 月下旬以降の日平均気温は 30℃以下であったこと、また、気温が低く推移した遮光区で CO₂ 交換速度が遅かったことから、これらの温度域はワケギ鱗茎に対しても限界温度以下であり、貯蔵温度が高いほど呼吸量が多かったと考えられる. このことから、遮光処理により貯蔵場所における限界温度以下での昇温を抑制し、呼吸量の増加と鱗茎の全糖含有率の低下を抑制した結果、年末の軟化鱗茎の発生を軽減できたと考えられた. なお、遮光区では遮光により対照区が限界温度以上であった期間も限界温度以下となり、呼吸量が増加し全糖含有率は低下した可能性があるが、本実験ではこれらの影響は小さく、両区とも限界温度以下での影響が大きかったと推察された. また、吊り下げ貯蔵中の寒冷紗の有無による CO₂ 交換速度の差は、高温時期の 7~8 月よりも 9 月上旬頃から顕著であったことから、遮光による鱗茎の劣化抑制の効果は休眠期間と比較して休眠打破後に大きいことが示唆された. 休眠打破後の萌芽および鱗茎の軟化については、貯蔵中のタマネギの萌芽は、呼吸量が増大し始める時期にほぼ一致し(緒方, 1952; 田中ら, 1985a), 糖含量が減少すると同時に窒素化合物が増加し萌芽などの再成長に利用される(加藤, 1981). 萌芽

の適温は、タマネギ(青葉, 1956, 1964; 加藤, 1965; 田中ら, 1985a)およびニンニク(山崎ら, 2010)ともに 15℃前後であり、それぞれ 25~30℃および 35℃以上で萌芽が抑制される。一方で、本実験で貯蔵中の鱗茎は、CO₂ 交換速度が増加し、平均気温が 25℃を下回り始めた 9 月上旬から萌芽を開始した。鱗茎の軟化は、CO₂ 交換速度の急激な増加と鱗茎の貯蔵養分および水分の減少により急激に増加したと考えられた。なお、調査期間の後半において、対照区の萌芽率が遮光区と比較して顕著に低かった(図 3-5)。このことは、対照区では貯蔵中の鱗茎の全糖含有率が低下しており萌芽可能な鱗茎が顕著に減少していたためと考えられた。さらに、タマネギでは貯蔵中の鱗茎の萌芽には窒素化合物が必要であると報告されており(加藤, 1981)、今後は窒素の動態についても検討する必要がある。

以上の結果から、軒下吊り下げ貯蔵におけるワケギ鱗茎では、8 月中旬頃には自発休眠および他発休眠を含めた休眠が打破され、呼吸速度の増加と重量の減少がみられ始め、9 月上旬から急激に軟化の発生することが明らかとなった。また、鱗茎の軒下吊り下げ貯蔵における遮光は、8 月中旬以降の呼吸速度の増加および鱗茎の全糖含有率の低下を抑制することにより、掘り上げ年の最終定植時期となる年末における鱗茎重量の減少を無処理と比較して約 10%、軟化鱗茎の発生を約 20%それぞれ抑制し、定植可能な鱗茎を 20%増加させた。第 2 節以降では、鱗茎の急激な品質低下がみられた 8 月中旬以前からの新たな貯蔵技術を開発する必要があると判断した。

第 2 節 鱗茎貯蔵時の包装方法および貯蔵温度が種球品質に及ぼす影響

1. 緒言

第 1 節の結果を基に、軒下吊り下げ貯蔵中の出芽や軟化が急増し始める 8 月以前からの新たな貯蔵技術を開発するため、貯蔵中の湿度条件および貯蔵温度が鱗茎の種球品質および定植後の萌芽に及ぼす影響を調査した。

2. 材料および方法

2006 年 10 月 5 日に、広島県立総合技術研究所農業技術センターのビニルハウス(間口 7.2 m, 奥行き 45 m)内に、ワケギ鱗茎を、畝幅 1.4 m, 条間 20 cm, 株間 25 cm として 1 a 当たり 570 球定植した。圃場への施肥は、土壌の EC が 0.8 dS・m⁻¹であったため無施肥とレバーク堆肥(有機物 70%, N:P₂O₅:K₂O=1.5%:1.1%:0.4%, 久米産業(株))500 kg・a⁻¹を混和した。栽培期間中の温度管理は無加温でなりゆきとした。ビニルハウス内の株の鱗茎が肥大し、地上部がほとんど倒伏した 2007 年 5 月 16 日に掘り上げ、3 日間畝の上で風乾した。その後、株を分割し鱗茎 10 球が一塊となるよう葉身部分を麻ひもで結束し、殺菌剤(ベノミル水和剤 500 倍液, (株)住友化学)に約 30 分間浸漬した後、再度風乾し処理区に分類した。

スレート屋根と足場鋼管(直径 48.6 mm)で組んだ枠(奥行き 120 cm, 幅 190 cm, 高さ 170 cm)に、遮光率 60%の黒寒冷紗で周囲を被覆し、5 月 28 日に軒下の高さ約 110~160 cm に鱗茎を吊り下げた。処理区は、恒温機(FMU-1331, (株)日本医化器械製作所)への鱗茎の入庫時期として 7 月 18 日(以下, 7 月区)および 8 月 18 日(以下, 8 月区)、貯蔵温度を 0(以下, 0℃区)、5(以下, 5℃区)および 10℃(以下, 10℃区)の区を設けた。また、鱗茎の包装方法として、鱗茎 10 分球を専用のポリエチレン袋(28 cm×26 cm)に入れ、手動式真空ポンプ(6132-A0010A, ナルゲン(株))と家庭用のポリ袋シーラー器(JP-523, ツインバード(株))を用い袋内を減圧し、初期値を約 1/2 気圧とした区(以下, 減圧区)、ポリエチレン袋(28 cm×26 cm)に鱗茎 10 分球を入れ密封した区(以下, 密封区)、同様のポリエチレン袋にあらかじめ直径 6 mm の穴を 24 箇所開け(開口率 0.9%)鱗茎 10 分球を入れた区(以下, 穴あき区)、同様のポリエチレン袋に除湿剤(25 g パック, 塩化カルシウムおよび保水剤, 現エステー(株))を鱗茎 10 分球と一緒に入れ密封した区(除湿区)を設けた。対照として鱗茎を掘り上げ後、継続して軒下で吊り下げ貯蔵した区を設けた。軒下に吊り下げた 5 月 28 日から 12 月 20 日まで約 1 週間ごと鱗茎の重量、軟化、カビ、萌芽および発根がみられた鱗茎数を調査した。鱗茎の“軟化”、“萌芽”の判断は第 1 節と同様とし、盤茎からの新根が認められた状態を“発根”、鱗茎に白点が確認された状態を“カビ”の発生と見なした。調査は軒下吊り下げ貯蔵の開始時に 10 分球を 1 塊として麻ひもで結束したものを 1 反復とし、穴あき区および対照区は 3 反復、その他の区は 2 反復とした。各包装方法の貯蔵温度別の湿度および呼吸速度の目安(渋谷, 2014)としての

CO₂交換速度は、処理区と同様のサンプルを別途用意し自記温湿度計(おんどり TR-72U, (株)ティアンドデイ)および赤外線吸収式 CO₂センサー(Telaire7001D, (株)Telaire)を同梱し、湿度は7月25～27日、CO₂交換速度は7月20～25日に計測した。なお、減圧区は、包装内に計測機器の同梱が不可能であったため欠測とした。その後、12月22日に各処理区について著しい軟化がみられない鱗茎を4～6球抽出し、同センター内のビニルハウス内に条間10 cm、株間20 cmとしてa当たり5000株で定植し、萌芽率を調査した。なお、供試品種、実験場所、種球栽培時および貯蔵後の栽培時の灌水方法は第1節と同様の方法とした。

3.結果および考察

貯蔵庫への入庫時期、包装方法および貯蔵温度別の相対湿度および容器内のCO₂交換速度を表3-1に示した。相対湿度はいずれの貯蔵温度でも密封区で99 RH%と高く、穴あき区で83～87 RH%、除湿区で16～25 RH%と低かった。また、容器内のCO₂交換速度は、穴あき区ではいずれの貯蔵温度でも1～2 mgCO₂・kg⁻¹・h⁻¹と小さく、密封区および除湿区では貯蔵温度が高いほど大きかった。

鱗茎を軒下に吊り下げ、葉身が枯死した6月15日の葉身を含めた鱗茎の重量を100%とし、その後の貯蔵中の鱗茎重量割合を図3-8に、貯蔵終了時の各包装方法の鱗茎の状況を図3-9に示した。いずれの包装方法においても、低温貯蔵開始時に葉

身を切断したことによる重量の低下がみられた。鱗茎の重量低下は、低温貯蔵中と比較して軒下吊り下げ貯蔵中の方が顕著であり、低温貯蔵開始時の重量割合は、7月区よりも8月区の方が小さかった。包装方法別の貯蔵中の鱗茎の重量低下は、減圧区および密封区で小さく、次いで穴あき区、除湿区であった。また、穴あき区および除湿区においては、いずれの開始時期でも10℃区で鱗茎の重量低下が大きく、次いで5℃区、0℃区であった。貯蔵中の軟化鱗茎の発生推移を図3-10に示した。鱗茎の軟化は対照区では8月中旬から発生し、その後増加した。穴あき区では、8月区で軟化が多かったが、貯蔵温度による顕著な差はみられなかった。密封区では、7月区では軟化がみられなかったが、8月区では5℃区で多かった。減圧区では、7月区で軟化が多く、特に0℃区で多かった。除湿区では、8月区の10℃区で軟化が顕著に多かった。なお、減圧区では外観による変化がほとんどみられなかったが、低温貯蔵終了時に鱗茎を切断すると内部の腐敗が確認された(図3-9)。

鱗茎の貯蔵中のカビの発生、発根および萌芽の状況を表3-2に示した。貯蔵中のカビの発生は、密封区で顕著に多く、特に10℃区の発生率は11月以降45～56%と高かった。除湿区でも、8月区の10℃区でカビの発生がみられたが、その後の増加はみられなかった。貯蔵中の発根は、密封区でみられ、その他の処理区ではみられなかった。密封区では低温貯蔵の開始が早いほど

表3-1 貯蔵温度および包装方法が容器内の相対湿度およびCO₂交換速度に及ぼす影響

包装方法	貯蔵温度 (℃)	相対湿度 ^z (%)	CO ₂ 交換速度 ^y (mg CO ₂ /kg/h)
穴あき	0	83	2
	5	87	1
	10	83	2
密封	0	99	22
	5	99	41
	10	99	60
除湿	0	16	15
	5	25	40
	10	22	56

^z 2007年7月25日～7月27日計測, TR-72Uで測定

^y 2007年7月20日～7月25日計測, 二酸化炭素濃度測定装置(Telaire7001D)で測定

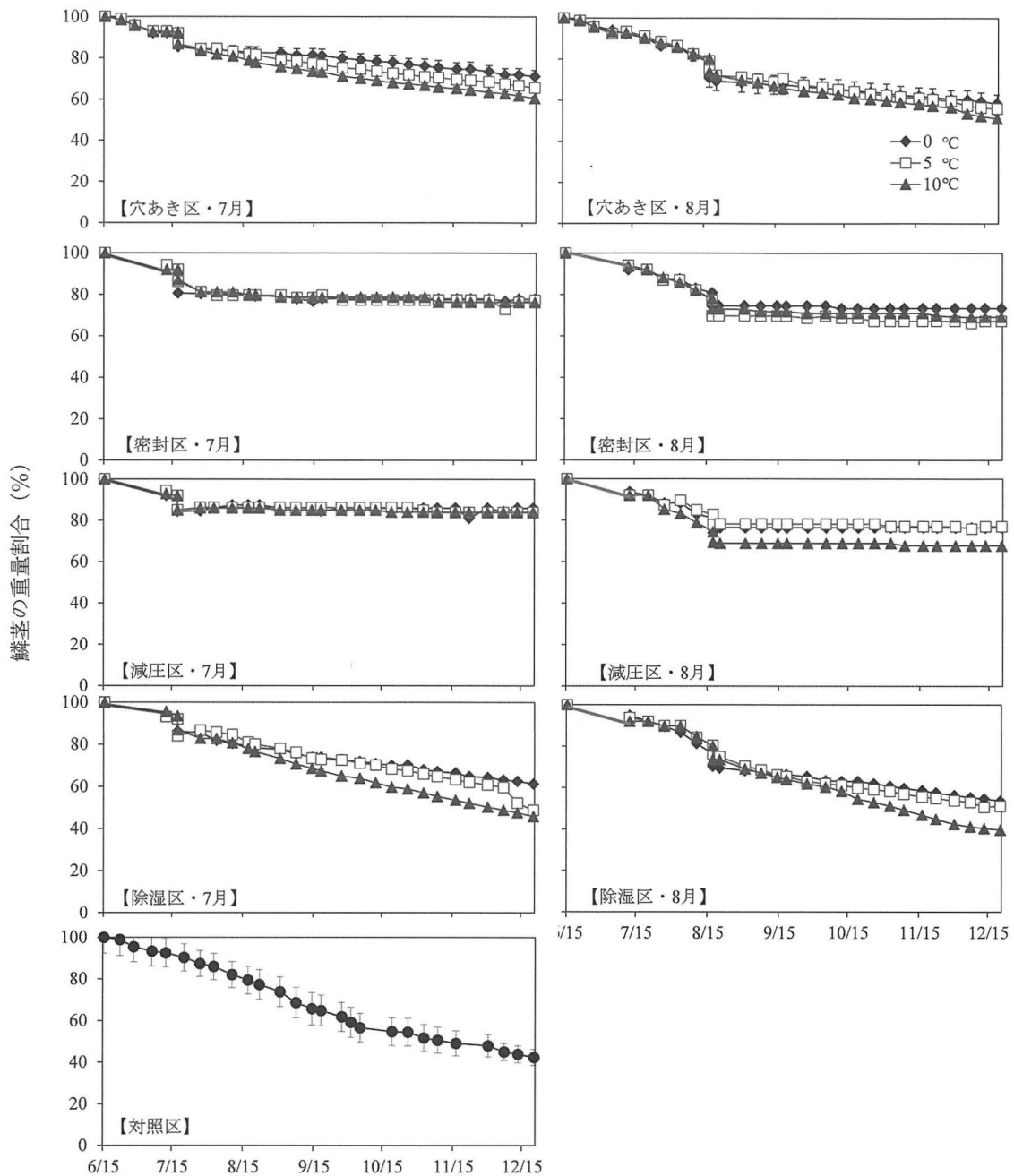


図 3-8 貯蔵温度および包装方法がワケギ鱗茎の重量変化に及ぼす影響

図中の垂線は標準誤差(n=3)を示す

発根率が高く、7月区では5℃区および10℃区で8月以降の発根率が100%となった。貯蔵中の萌芽は、密封区で最も多く、穴空き区および除湿区7月区および8月区の10℃区でもみられた。特に密封区では5℃区および10℃区で多く、10℃区の萌芽率は11月以降75～100%と高かった。

春季の長日により充実肥大した鱗茎を5月に掘り上げ、対照区および各処理区の処理開始まで軒下吊り下げ貯蔵した場合の鱗茎重量の減少や軟化の発生(図 3-8, 図 3-9)は、(川口ら, 2017)の報告と同様の推移を示し、貯蔵養分として蓄積されていた糖が呼吸により消費されることに起因すると考えられた。なお、処理中と比較して処理開始までの鱗茎の重量低下が顕著で、特に8月上旬に重量が大きく低下した(図 3-8)。

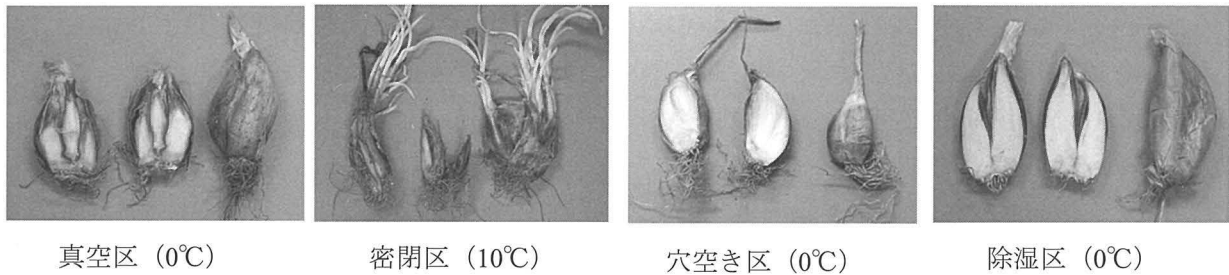


図 3-9 各処理区における鱗茎の劣化状況

また、低温貯蔵時の温度については、穴あき区の 8 月開始および除湿区において、貯蔵温度が高いほど貯蔵中の鱗茎の重量低下および軟化の発生が顕著であり(図 3-8, 図 3-9, 図 3-10)、特に 10℃においては、貯蔵期間後半には穴あき区および除湿区の 8 月区ではカビの発生が、穴あき区および除湿区の 7 月区および 8 月区では萌芽がみられた(図 3-9)。筆者らはこれまで、鱗茎の軒下吊り下げ貯蔵において、高温により鱗茎の呼吸量が減少する限界温度以下での 0～25℃では、環境温度が低いほど鱗茎の呼吸速度の増加および重量低下を抑制できることを報告しており(川口ら, 2017)、タマネギ(加藤, 1973)およびチューリップ(吉野, 1967)でも同様の報告がみられる。本実験においても、低温貯蔵開始までは軒下吊り下げ貯蔵時の気温が低温貯蔵中の貯蔵温度 0～10℃と比較して高かったことから、呼吸量の増加により鱗茎の貯蔵養分が消耗し、重量低下が大きかったと考えられる。このことから、鱗茎を掘り上げ後、早期に 10℃以下で貯蔵することが、鱗茎重量の維持に効果的であることが示唆された。また、低温貯蔵期間中においても貯蔵温度が低いほど貯蔵中の鱗茎の呼吸消耗が抑制され、重量低下が軽減されたと考えられた。包装方法による湿度と鱗茎の品質低下との関係については、包装内の湿度が高かった密閉区では貯蔵中の重量変化が小さかったものの、発根、萌芽およびカビの発生が多く、逆に除湿剤を同梱し湿度が低かった除湿区では重量低下が大きく、特に 10℃区では顕著であった。また、穴あき区における鱗茎の発根、萌芽およびカビの発生は、貯蔵中の湿度が高かった密閉区と比較して少なく、鱗茎の重量低下は貯蔵中の湿度が低かった除湿区と比較して小さかった。タマネギでは貯蔵中の湿度条件について、萌芽は 50%以下の低湿度で著しく抑制(田中ら, 1985a)、根の伸長は高湿度で促進(田中ら, 1985c)、腐敗は 95%以上の高湿度で発生が助長され(田中ら, 1985b)、特にボトリチス属菌は低温条件においても高湿度で発生が著しいと報告されている。本実験においても、湿度条件による発根、萌芽およびカビの発生状況はこれらの報告と同様の傾向にあった。従って、ワケギ鱗茎を貯蔵する湿度としては、鱗茎を包装内に入れて庫内の送風による乾燥を防ぎ、かつポリエチレン包装に 1%の穴を開けて湿度 70～90 RH%を維持することが適切で、発根、萌芽、カビの発生および鱗茎の重量低下を軽減できることが示唆された。なお、穴あき区の包装を開口し湿度 70～90 RH%とする方法は、鱗茎を貯蔵する予冷庫内の湿度条件に大きく依存することから、実際の利用にあたっては留意する必要がある。また、貯蔵開始時の気圧を 1/2 とした減圧区については、密閉区と同様に貯蔵中の包装内外の空気および水分の交換がないため鱗茎重量が維持されていたが、0 および 10℃区では鱗茎の軟化が顕著であった(図 3-8, 図 3-9, 図 3-10)。一般に、CA 貯蔵や MA 貯蔵は、高 CO₂かつ低 O₂状態とし青果物の品質を維持する貯蔵方法であるが、長期間の低酸素状態が続くと、貯蔵中に好気呼吸から嫌気呼吸に代わり、アセトアルデヒドやエタノールなどの有害な揮発性成分が組織内に蓄積し、異臭や組織の変色、水浸状化および崩壊が発生すると報告されている(今堀, 2006; 今堀ら, 1998)。本実験においても、低温貯蔵終了時の鱗茎内部に黒く枯死した部分がみられたことから(図 2-9)、包装内部が減圧処理により嫌気状態となり組織が崩壊および変色し、鱗茎の軟化を促進したと推察された。

貯蔵した鱗茎を定植後の萌芽率を表 3-3 に示した。減圧区を除くいずれの包装方法でも 7 月開始区では 100%であったが、8 月開始区では 75～100%で、処理区による差が認められた(表 3-3)。このことは、より早く 0～10℃の低温で貯蔵することにより、貯蔵中の鱗茎の CO₂ 交換速度の増加と貯蔵養分および水分の減少を抑制し(川口ら, 2017)、定植時まで鱗茎の品質低下が抑制できたためと考えられた。一方、8 月区では、密閉区の包装内部が高湿度となり、貯蔵中に発根、萌芽およびカビが発生した。また、

除湿区では包装内部が極度の乾燥状態となり、貯蔵養分の消耗および鱗茎の重量低下が激しかったと考えられる(表 3-2, 図 3-8). なお, 減圧区ではすべての処理区で定植後の萌芽がみられなかった(表 3-3). このことは, 前述と同様に貯蔵中の長期間の嫌気状態が組織の崩壊および変色を促進し(今堀, 2006; 今堀ら, 1998), 定植時には既に鱗茎の萌芽能力が失われていたためと推察された.

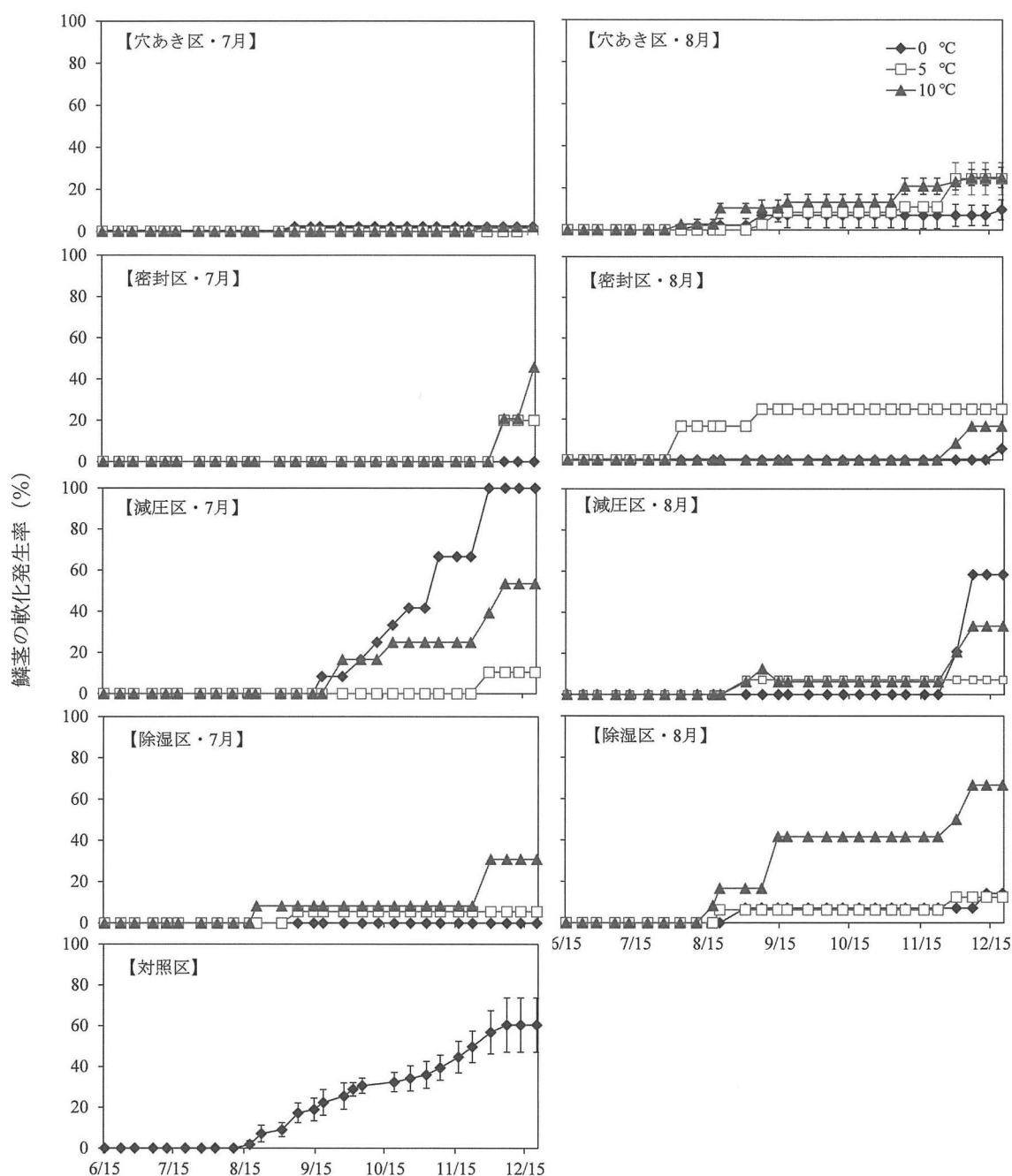


図 3-10 貯蔵温度および包装方法がワケギ鱗茎の軟化発生率に及ぼす影響

図中の垂線は標準誤差 (n=3) を示す

表 3-2 貯蔵温度および包装方法がワケギ鱗茎のカビ発生、萌芽および発根に及ぼす影響

包装 ^z 方法	開始 ^y 時期(月)	貯蔵 温度(℃)	カビ ^x (%)							発根 ^w (%)							萌芽 ^v (%)						
			6/15	7/17	8/17	9/18	10/19	11/30	12/20	6/15	7/17	8/17	9/18	10/19	11/30	12/20	6/15	7/17	8/17	9/18	10/19	11/30	12/20
穴あき	無処理(軒下吊り下げ)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	8
		7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
	8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	21	25	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		5	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	23	19
密封	7	10	0	0	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10	32	34
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17	17	100	100	0	0	0	0	0	0	0
		5	0	0	0	10	10	10	10	0	62	100	100	100	100	100	0	0	0	0	28	37	47
	8	10	0	0	6	54	54	56	56	0	73	100	100	100	100	100	0	0	0	31	100	100	100
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	38	0	0	0	0	0	6	13
		5	0	0	0	0	0	25	25	0	0	50	50	50	50	100	0	0	0	8	42	75	100
減圧	7	10	0	0	0	22	27	45	45	0	0	67	67	67	67	67	0	0	0	10	30	75	92
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		5	0	0	0	7	7	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
除湿	7	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	16
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
	8	10	0	0	0	0	0	33	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	33	42	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6

^z 穴あき区:鱗茎を開口率1%の穴あきポリエチレン袋に入れた, 密封区:ポリエチレン袋に鱗茎を入れ密封, 減圧区:ポリエチレン袋に鱗茎を入れ1/2気圧に減圧, 除湿区:ポリエチレン袋に鱗茎と除湿剤を同梱

^y 7月開始区:7月18日, 8月開始区:8月18日

^x 鱗茎に白点を確認された状態を“カビ”と見なした

^w 盤茎からの新根が確認された状態を“発根”と見なした

^v 鱗茎から萌芽が確認された状態を“萌芽”と見なした

以上のことから、ワケギ鱗茎の品質低下を抑制するための低温貯蔵の開始時期は、他発休眠から覚醒し鱗茎の重量低下が激しくなる 8 月(川口ら, 2017)より早い 7 月が有効であると判断した。また、鱗茎の貯蔵温度は、重量低下、軟化、カビ、発根および萌芽が少ない 0 あるいは 5℃、湿度は 70~90 RH%が適切であると判断した。なお、本実験での湿度約 70~90 RH%の条件は、鱗茎を開口率 1%程度で開口した包装内に入れ、貯蔵庫の送風による乾燥を避け適度に換気することで再現可能であった。しかし、使用する貯蔵庫内の湿度環境に大きく依存されると考えられることから、今後、現地で使用する予冷库の湿度制御方法の検討が必要である。

表 3-3 貯蔵温度および包装方法がワケギ鱗茎の貯蔵、定植後の萌芽率に及ぼす影響

包装方法	貯蔵温度 (℃)	貯蔵開始時期ごとの萌芽率 (%)	
		7月	8月
穴あき	0	100	100
	5	100	83
	10	100	100
密封	0	100	75
	5	100	100
	10	100	100
減圧	0	0	0
	5	0	0
	10	0	0
除湿	0	100	100
	5	100	100
	10	100	75

^z 2007年7月25日～7月27日計測, TR-72Uで測定

^y 2007年7月20日～7月25日計測, 二酸化炭素濃度測定装置 (Telaire7001D) で測定

第3節 鱗茎の低温貯蔵および予措方法が種球品質と定植後の生育に及ぼす影響

1. 緒言

前節において、ワケギの低温貯蔵方法による鱗茎の品質変化について明らかにしたが、低温貯蔵の期間と貯蔵中の鱗茎の品質変化および定植後の生育との関係については不明である。ワケギと同属のニンニクでは-2~10℃(高樹・青葉, 1977), 球根アイリスでは 5~10℃(青葉, 1974b), チューリップでは 0~5℃(青葉, 1976)の球または苗への低温処理により、鱗葉の形成が誘導されることが報告されている。このことから、ワケギ鱗茎の低温貯蔵により、鱗茎内部に鱗葉が形成され、定植後に鱗茎が肥大するとともに葉身の伸長が抑制されることで、商品性が劣ることが懸念される。一方、ニンニク(高樹, 1979)のほか、チューリップ(青葉, 1976)やフリージア(青葉, 1974a)などの花卉球根類において、低温貯蔵後の高温処理により鱗茎形成の誘導作用が打ち消されることが報告されており、ワケギにおいても高温処理による同様の影響が報告されている(山崎, 2003)。

そこで、本節では、鱗茎を掘り上げた後の低温貯蔵期間が、貯蔵中の鱗茎の品質および定植後の生育に及ぼす影響を調査した。さらに、低温貯蔵による鱗葉の発生を軽減するための予措方法についても調査し、鱗茎の品質を維持するために有効な低温貯蔵方法について検討した。

2. 材料および方法

2014年10月14日に広島県立総合技術研究所農業技術センターのビニルハウス(間口 7.2 m, 奥行き 45 m)内に、ワケギ鱗茎を畝幅 1.4 m, 条間 20 cm, 株間 25 cmとして 1 a 当たり 572 球定植した。圃場の土壌の EC が 1.5 dS・m⁻¹であったため、施肥は行わず、パーク堆肥(有機物 70%, N:P₂O₅:K₂O=1.5%:1.1%:0.4%, 久米産業(株)) 500 kg・a⁻¹のみを混和した。栽培期間中は

無加温とし、ハウスサイドは室温 15℃で解放した。ビニルハウス内の株がほとんど倒伏した 2015 年 6 月 15 日に肥大充実した鱗茎を掘り上げ、3 日間畝の上で風乾した。その後、株を分割した鱗茎を 12~20 球をタマネギ用のネット袋(縦 17 cm, 横 18 cm)に入れ、殺菌剤(ベノミル水和剤 500 倍液, 住友化学(株))に約 30 分間浸漬して再び風乾した。スレート屋根と足場鋼管(直径 48.6 mm)で組んだ枠(奥行き 120 cm, 幅 190 cm, 高さ 170 cm)に、遮光率 60%の黒寒冷紗で周囲を被覆し、6 月 25 日に軒下の高さ約 150 cm に鱗茎を吊り下げた。7 月 15 日から 5℃に設定した恒温器(FMU-1331, (株)日本医化器械製作所)に鱗茎を入庫し、低温貯蔵処理を開始した(図 3-11)。その後、定植日の 12 月 20 日から 100 日前(9 月 10 日, 以下, 100 日前出庫区), 80 日前(9 月 30 日, 以下, 80 日前出庫区), 60 日前(10 月 20 日, 以下, 60 日前出庫区), 40 日前(11 月 10 日, 以下, 40 日前出庫区)および 20 日前(11 月 30 日, 以下, 20 日前出庫区)に出庫し、出庫後は再び軒下に吊り下げてなりゆきで予措する処理(以下, なりゆき予措)と 25℃に設定した恒温器(同上)に入庫し、予措する処理(以下, 25℃予措)を行った。また、予措を行わず定植日まで 5℃で貯蔵する処理区(以下, 低温区), ならびに対照として定植日まで軒下に吊り下げる無処理区を設けた。鱗茎の吊り下げ貯蔵開始後の 6 月 25 日から 12 月 20 日まで、約 20 日間隔で鱗茎の重量, ならびに軟化および萌芽がみられた鱗茎数を調査した。試験区は処理区設定時の鱗茎 12~20 球を入れたネット袋を 1 反復とし、各処理区 3 反復とした。鱗茎の“軟化”, “萌芽”の判断は第 1 節と同様とし、盤茎からの新根発生が認められた状態を“発根”と見なした。吊り下げ貯蔵中、低温貯蔵中および予措処理時の気温および相対湿度は、自記温湿度計(TR-72U, (株)ティアンドデイ)により 10 分ごとに計測した。

12 月 20 日に各処理区について軟化の発生程度が小さい鱗茎 7 球を 1 反復、各処理区 3 反復とし、ビニルハウス(間口 6.4 m, 奥行き 15 m)内に畝幅 1.2 m, 条間 20 cm, 株間 15 cm として 1 a 当たり 1110 球定植した。圃場への施肥は、全量基肥で有機質配合肥料(N:P₂O₅:K₂O=10%:8%:9%, 広島県製肥(株))を N 成分で 1.5 kg・a⁻¹ 施用し、バーク堆肥(有機物 70%, N:P₂O₅:K₂O=1.5%:1.1%:0.4%, 久米産業(株))500 kg・a⁻¹ を併せて混和した。栽培期間中の温度管理はなりゆきとした。各区について萌芽日を調査し、2016 年 1 月 26 日から 3 月 25 日までは概ね 10 日ごとに草丈を調査した。収穫時の生育調査は 4 月 9 日および 10 日に行い、株を掘り上げて分割し、枯死した葉身を除去した後に根を切除して調製重を計測した。その後株の最大葉を含む分げつについて交合部径および葉鞘基部径を計測し、加藤(1963)の方法に従い、葉鞘基部を交合部径で除した値を鱗茎の肥大指数として表した。また、最大葉を含む分げつについて外葉から一葉ずつ剥離し、加藤(1965)および山崎(2003)の方法に従い、葉身長を葉鞘長で除した値が 1 未満の葉を鱗葉、1 以上の葉を普通葉と定義し、それぞれの葉数を調査した。なお、供試品種、実験場所、種球栽培時および貯蔵後の栽培時の灌水方法は第 1 節と同様の方法とした。

予措方法		2015年							2016年				
温度	期間 (日前出庫)	6(月)	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	
なりゆき	20	掘り上げ 6/15 ↓ 軒下吊り 下げ貯蔵 (なりゆき)	7/15～ 5℃					11/30		春どり栽培 定植：12/20 調査：4/9,10			
	40							11/10					
	60							10/20	なりゆき				
	80							9/30					
	100							9/10					
25℃	20		7/15～ 5℃					11/30					
	40							11/10					
	60							10/20	25℃				
	80							9/30					
	100							9/10					
低温区			7/15～ 5℃										
無処理（軒下吊り下げ）			なりゆき										

図 3-11 処理区の概要

3. 結果および考察

吊り下げ場所における日平均気温の月別の平均値は、6 月が 22.1℃, 7 月が 25.3℃, 8 月が 26.1℃, 9 月が 21.7℃, 10 月が 16.0℃, 11 月が 12.7℃, ならびに 12 月が 7.6℃であった(図 3-12A)。なお、日最高気温が 25℃以上となった日数は、6 月が 4 日, 7 月が 28 日, 8 月が 30 日, 9 月が 24 日, 10 月が 19 日, ならびに 11 月が 1 日であった。25℃予措および低温区は、概ね設定温度で推移した。

吊り下げ場所における日平均相対湿度は、30%以下となることがあったものの、概ね 60~90%で推移した(図 3-12B)。また、低温区では日平均相対湿度が 57~81%の範囲で漸減し、25℃予措では 26~70%と低温区と比較して低く推移した。

鱗茎の吊り下げ貯蔵を開始した 6 月 25 日の鱗茎重量を 100%としたときの軒下吊り下げ貯蔵、低温貯蔵および予措を含む貯蔵中の鱗茎の重量割合は、いずれの予措でも出庫後に大きく低下した(図 3-13)。特に、なりゆき予措の 100 日前出庫区、25℃予措の 80 および 100 日前出庫区、ならびに無処理区では、11 月中旬には鱗茎の重量割合が 60%を下回り、調査終了時には 25℃予措の 60 日前出庫区も含め 50%以下となった。調査終了時の鱗茎の重量割合は、無処理区と比較して、なりゆき予措の 20 日前出庫区および低温区で 62~66%と高かった。また、予措の違いによる有意な差はみられなかったが、なりゆき予措では 100 日前出庫区と比較して、20 および 40 日前出庫区で有意に大きかった。

貯蔵中の軟化鱗茎は、すべての処理区において 9 月中旬頃から発生し始め、その後増加した(図 3-14)。特に、なりゆきおよび 25℃予措の 80 および 100 日前出庫区、ならびに無処理区では、11 月中旬には軟化鱗茎の発生率が 20%を超え、調査終了時にはなりゆき予措の 100 日前出庫区、25℃予措の 20~100 日前出庫区、ならびに無処理区で 30~55%に達した。調査終了時の軟化鱗茎の発生率は、無処理区と比較して、なりゆき予措の 40 および 60 日前出庫区で 11%と低かった。また、予措の違いおよび各予措における出庫時期による有意な差はみられなかった。なお、本実験ではタマネギでみられる灰色腐敗病、軟腐病や黒かび病など(大西ら, 1981)の病害による軟化はみられなかった。貯蔵中の鱗茎は、9 月中旬頃から萌芽し始め、その後、葉身の伸長停止と新たな萌芽を繰り返したが、すべての処理区において萌芽率は 10%以下で推移し、すべての調査日で処理による有意な差はみられなかった(図 3-15)。

定植後の鱗茎の萌芽率は、無処理区の 88%と比較して、なりゆき予措のすべての出庫時期、25℃予措の 20~60 日前出庫区、ならびに低温区で高かった(図 3-16A)。また、予措の違いおよび各予措における出庫時期による有意な差はみられなかった。

定植後の萌芽日数は、無処理区の 13.3 日と比較して、なりゆき予措の 20 および 60 日前出庫区で 7.3~7.6 日と短かった(図 3-16B)。また、25℃予措と比較して、なりゆき予措が 40~80 日前出庫区で有意に萌芽日数が小さかった。各予措における出庫時期による有意な差はみられなかった。

栽培期間中の草丈は、2 月 5 日の調査において、無処理区と比較して、なりゆき予措の 20 および 40 日前出庫区、ならびに 25℃予措の 20 および 60 日前出庫区で大きかった(データ省略)。

収穫時の調製重は、無処理区と比較して、25℃予措の 100 日前出庫区で 196 g と大きかった(図 3-17A)。また、予措の違いおよび各予措における出庫時期による有意な差はみられなかった。収穫時の草丈には、処理による有意な差はみられなかった(図 3-17A)。収穫時の交合部径には、処理による有意な差はみられなかった(図 3-17B)。収穫時の葉鞘基部径には、予措の違いおよび各予措における出庫時期による有意な差はみられなかったが、低温区の 14.4 mm と比較して、なりゆき予措の 60 日前出庫区で 11.2 mm と有意に小さかった(図 3-17B)。収穫時の鱗茎の肥大指数は、無処理区の 2.10 と比較して、なりゆき予措の 40 および 60 日前出庫区、ならびに 25℃予措の 80 および 100 日前出庫区で 1.32~1.43 と小さかった(図 3-17B)。また、予措の違いおよび各予措における出庫時期による有意な差はみられなかった。収穫時の最大葉を含む分けつにおいて、普通葉枚数には、処理による有意な差はみられなかった(図 3-17C)。鱗葉枚数には、予措の違いおよび各予措における出庫時期による有意な差はみられなかったが、低温区での 0.9 枚と比較して、なりゆき予措の 80 日前出庫区、ならびに 25℃予措の 40, 80 および 100 日前出庫区において 0.0~0.1 枚と有意に少なかった(図 3-17C)。

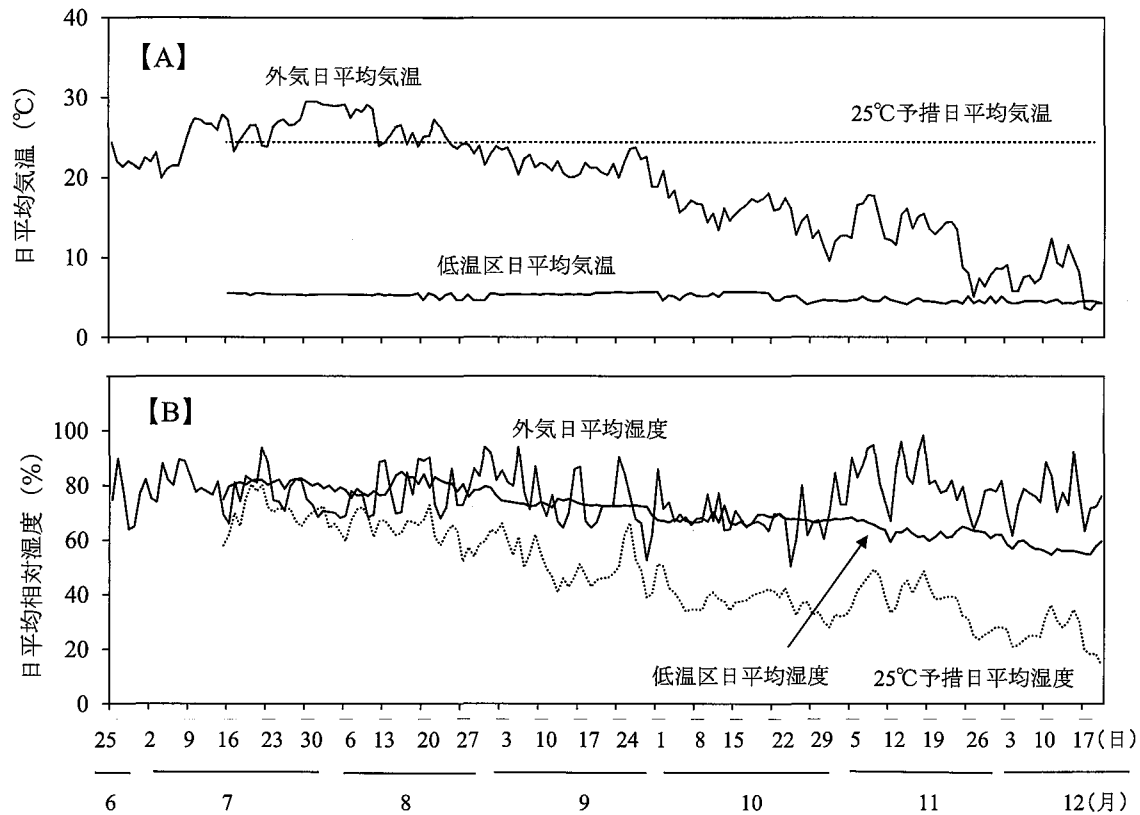


図 3-12 ワケギ鱗茎の軒下吊り下げ貯蔵, 低温貯蔵および予措中における各区の日平均気温および日平均相対湿度の推移

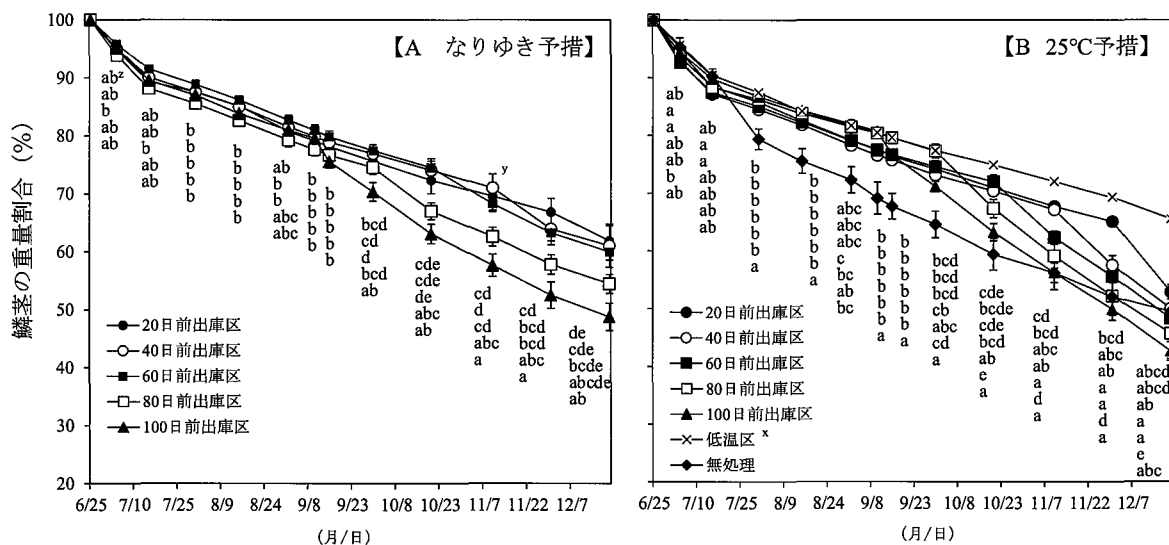


図 3-13 ワケギ鱗茎の低温貯蔵庫からの出庫時期および予措方法が軒下吊り下げ貯蔵, 低温貯蔵および予措中の重量割合に及ぼす影響

² 英文字は凡例順に示しており, 調査日ごとの【A】および【B】における異なる英文字間には, アークサイン変換後の Tukey の多重検定により5%水準で有意差があることを示す

³ 図中の垂線は標準誤差(n=3)を示す

⁴ 低温区および無処理区は【B】に示した

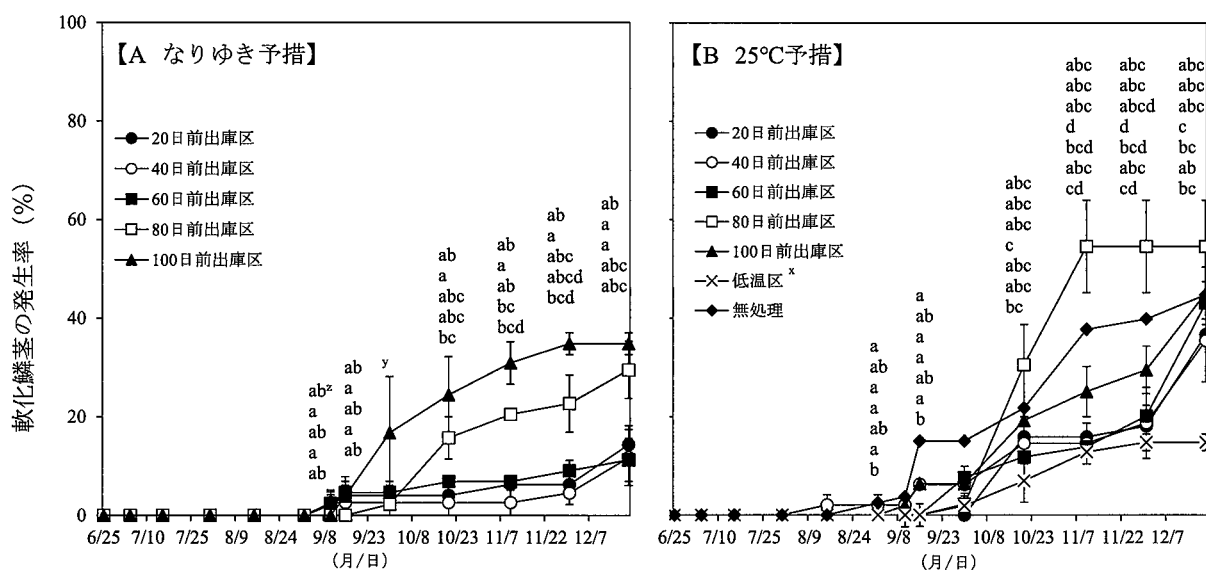


図 3-14 ワケギ鱗茎の低温貯蔵庫からの出庫時期および予措方法が軒下吊り下げ貯蔵，低温貯蔵および予措中の軟化鱗茎の発生率に及ぼす影響

² 英文字は凡例順に示しており，調査日ごとの【A】および【B】における異なる英文字間には，アークサイン変換後の Tukey の多重検定により 5%水準で有意差があることを示す

³ 図中の垂線は標準誤差 (n=3) を示す

⁴ 低温区および無処理区は【B】に示した

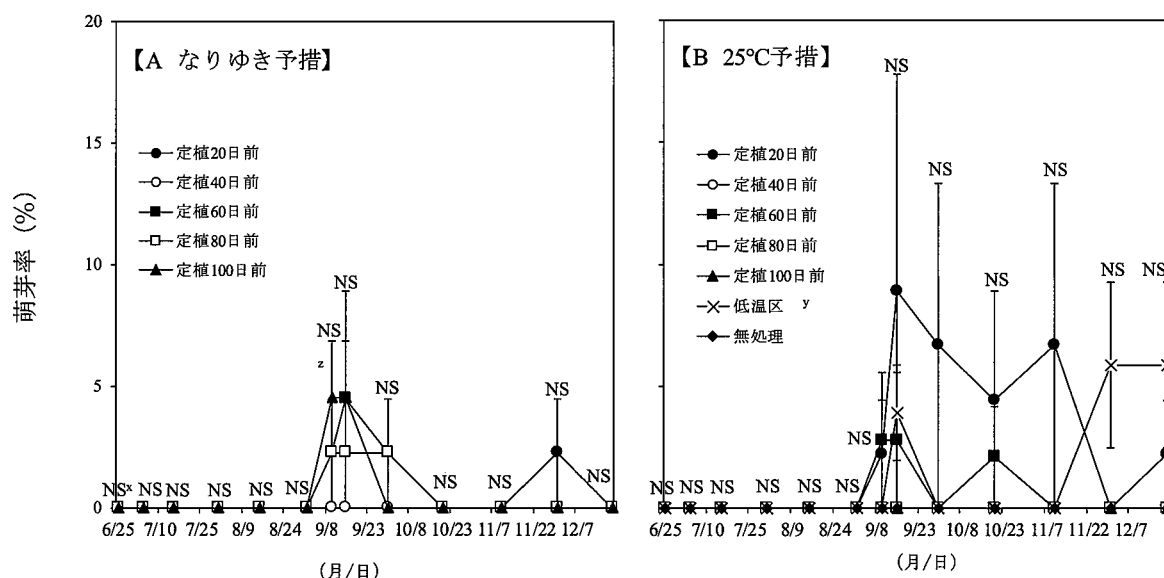


図 3-15 ワケギ鱗茎の低温貯蔵庫からの出庫時期および予措方法が軒下吊り下げ貯蔵，低温貯蔵および予措中の萌芽率に及ぼす影響

² 調査日ごとの【A】および【B】における NS は，アークサイン変換後の Tukey の多重検定により有意差なしを示す

³ 図中の垂線は標準誤差 (n=3) を示す

⁴ 低温区および無処理区は【B】に示した

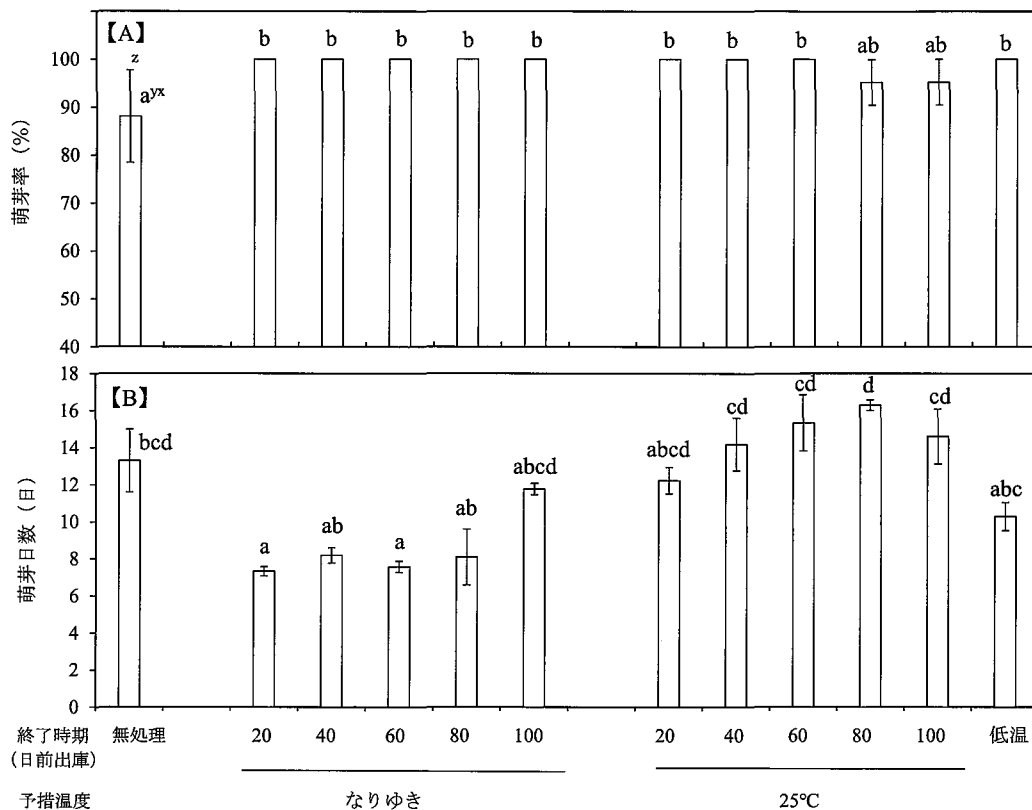


図 3-16 ワケギ鱗茎の低温貯蔵庫からの出庫時期および予措方法が定植後の萌芽率【A】および萌芽日数【B】に及ぼす影響

*図中の垂線は標準誤差(n=3)を示す

†同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

*萌芽率の多重検定は、アークサイン変換後に行った

ワケギ鱗茎の内容物質は、第1節と同様に越冬後春にかけて含水量の低下に伴い蓄積された還元糖であり(田口, 1948), 近年では重合度 3~8 程度のフルクタンが多く蓄積されていると報告されている(山崎, 2003). 鱗茎を掘り上げた後の軒下への吊り下げ貯蔵時, 低温貯蔵時および予措処理時における重量低下や軟化の発生については, タマネギでの報告と同様に鱗茎の水分の蒸発(玉木ら, 2002), ならびに貯蔵養分として蓄積されていた糖の呼吸消耗(加藤, 1981)に起因すると考えられる. これまで筆者らは, ワケギ鱗茎の軒下吊り下げ貯蔵中の鱗茎重量と呼吸量の変化から, これらを裏付ける結果を得ている(川口ら, 2017). 鱗茎を掘り上げた後, 7月からの低温貯蔵により鱗茎重量の低下および軟化の発生が抑制され, その効果は低温貯蔵庫からの出庫時期が遅いほど, 一方, 25°C予措と比較してなりゆき予措で高かった(図 3-13, 図 3-14). 定植後の萌芽率は, 無処理区と比較してなりゆき予措で高く, かつ萌芽日数が短かったのに対し, 25°C予措ではなりゆき予措と比較して萌芽日数が長い傾向にあり, 80 および 100 日前出庫区では萌芽しない鱗茎がみられた(図 3-16). さらに, 栽培期間中の草丈(データ省略)は, 一部の調査日において, なりゆきおよび 25°C予措で低温貯蔵庫からの出庫時期が遅いと大きい傾向がみられた.

野菜類の呼吸量は, 品目により貯蔵温度の影響は異なるが, 限界温度以下では環境温度が高いほど多く, 限界温度以上では減少する(大久保ら, 1998)とされている. タマネギの貯蔵中の呼吸量は, 0~25°Cでは高温ほど多く(村田ら, 1993), 25°Cでは一時的な減少(田中ら, 1985a), 30°Cでは萌芽抑制に伴う減少(青葉, 1964)がみられることから, ワケギ鱗茎の呼吸量が最大となる限界温度は, 概ね 25~30°Cにあると推察される. また, ワケギの自発休眠期は春季の長日に誘起され鱗茎が肥大した後, 6月中旬までの約 50~60 日間とされており(長谷川ら, 1981), 本実験での低温貯蔵前の軒下吊り下げ貯蔵時には既に休眠から覚醒

し、呼吸量は環境要因に大きく影響される状態であったと考えられる。さらに、これまで筆者らは、ワケギ鱗茎の軒下吊り下げ貯蔵において、限界温度以下では遮光処理により鱗茎内温度の上昇を防ぎ、呼吸速度の上昇と重量低下が抑制されることを明らかにしている(川口ら, 2017)。なりゆき予措における月別の平均気温は、100 日前出庫区の予措を開始した 9 月 10 日以降の 9 月が 21.3℃, 10 月が 16.0℃, 11 月が 12.7℃, ならびに定植日の 12 月 20 日までの 12 月が 7.6℃であり、いずれの月も 25℃より低かった。これらのことから、本実験において鱗茎を掘り上げ、休眠覚醒後、低温貯蔵を開始した後は、5℃での低温貯蔵、その後のなりゆきおよび 25℃予措ではいずれも限界温度以下であり、これらのうち 5℃が最も低温で、次いでなりゆき、25℃予措の順であった。このため、より温度の低い貯蔵環境では鱗茎の呼吸量が少なく、これに伴い重量低下および軟化が抑制された結果、定植時まで鱗茎の貯蔵養分が維持され、萌芽能力、ならびに定植後の生育が優れたと考えられた。

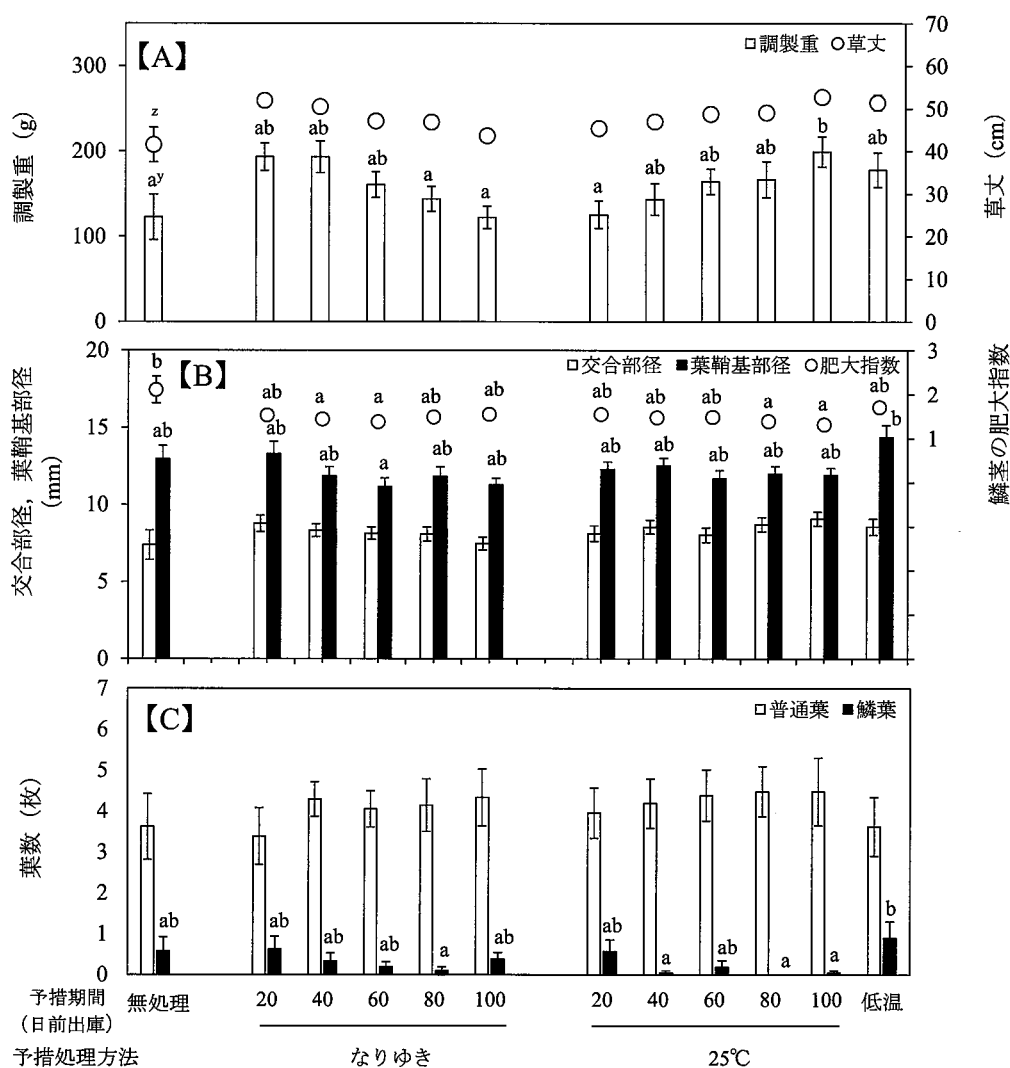


図 3-17 ワケギ鱗茎の低温貯蔵庫からの出庫時期および予措方法が収穫時の生育に及ぼす影響

^a 図中の垂線は標準誤差 (n=3) を示す

^y 同一調査項目において、異なる英文字間には、Tukey の多重検定により 5% 水準で有意差があることを示す

また、ユリ科に属するスカシユリ(藤原, 1992)やニンニク(平尾・横井, 1963), ラッキョウ(佐藤・田辺, 1970)およびワケギ(川口ら, 2014)において、鱗茎の重量が大きいほど定植後の生育量が大きいとの報告がみられ、本実験での低温貯蔵による鱗茎の重量低下と軟化の抑制が、定植後の生育量の増加に関係したと推察された。鱗茎の低温貯蔵により貯蔵中の萌芽率を低く維持し、軟化を抑制することは、年末に定植が可能な鱗茎の維持と、定植後の生育量の増加に寄与し、種球栽培からその後の営利栽培までの生産性効率が大幅に改善されることが考えられる。

収穫時の鱗葉の発生については、ニンニク(高樹・青葉, 1977), 球根アイリス(青葉, 1974b)およびチューリップ(青葉, 1976)では、球または苗に対する 0~10℃の低温処理が貯蔵葉、ならびにこれに伴う球根形成を誘導することが報告されている。一方で、これらの鱗茎形成の誘導効果は、その後の高温処理により打ち消されることがニンニク(高樹, 1979), チューリップ(青葉, 1976)やフリージア(青葉, 1974a)などの球根類で報告されている。ワケギにおいても、低温処理による鱗茎形成の誘導は、その後の 25~30℃の高温処理により打ち消され、その効果は高温への遭遇期間が長いほど大きいとされている(山崎, 2003)。本実験においても、低温区と比較して低温貯蔵後の長期間のなりゆきおよび 25℃予措により、鱗葉の発生数が減少したこと(図 3-17C)から、鱗茎の低温貯蔵後の予措処理が定植後の鱗葉発生の抑制に有効であり、営利栽培における商品性の維持に寄与すると考えられた。

また、25℃予措においては、予措期間が長いほど調製重が大きい傾向であった(図 3-17A)。このことは、予措期間が長いほど鱗茎形成の誘導を回避し、定植後の生育に促進的に作用したことによると考えられた。しかし、25℃予措ではなりゆき予措と比較して相対湿度も低く、予措期間中の鱗茎の品質低下が激しかったことから、実用的ではないと考えられた。

なお、なりゆき予措期間中における 9~12 月の月別の平均気温は、前述のとおり 7.6~21.3℃であり、山崎(2003)が低温処理による鱗茎形成の誘導を打ち消すのに有効としている 25℃より低かったにも関わらず鱗葉発生の抑制効果が認められた。さらに、低温貯蔵により定植後の鱗葉の発生がみられたものの、無処理区を除いていずれの処理区でも鱗茎の肥大指数が産地で鱗茎肥大による品質低下と判断される 2.0 以下であった。これらの原因として、予措期間中の 9 および 10 月において、日最高気温が 25℃以上となる日数が、それぞれ 24 および 19 日であり、なりゆきの予措処理においても 25℃以上に遭遇した期間がみられたこと、供試した冬どり栽培の品種(長谷川ら, 1981)である‘寒知らず’は、低温伸長性を有する(丸山ら, 1988)ことから、低温処理による鱗茎形成の誘導効果が小さく、かつ高温に対する感応性が高いため、なりゆきの予措でも十分に低温貯蔵による鱗茎の形成誘導を打ち消す効果があったこと、ならびに定植後の栽培時期が低温期であったため、長日および高温による鱗茎の形成(長谷川ら, 1979)がみられなかったことによると考えられた。今後、予措については、品種による高温の遭遇期間と鱗茎形成の抑制効果との関係を明らかにする必要がある。

以上の結果から、ワケギ鱗茎を掘り上げ後、低温貯蔵することにより慣行の軒下吊り下げ貯蔵と比較して貯蔵中の品質を維持することができ、その効果は低温貯蔵期間が長いほど大きかった。春どり栽培の最終定植時期である年末に定植する場合、7 月中旬から定植時まで 5℃で貯蔵することにより、定植時の鱗茎の軟化率を慣行の約 45%から 15%以下に軽減できる。また、鱗茎の低温貯蔵により、定植後の鱗葉の発生がみられたが、発生軽減には低温貯蔵後の定植前になりゆきおよび 25℃予措が有効であった。

予措の方法は、なりゆき予措と比較して 25℃予措が、また長期間の予措で鱗葉の発生の抑制効果が大きかったが、予措中の鱗茎の軟化が顕著であった。このため、短くとも定植 60 日前の 10 月下旬まで低温貯蔵することで鱗茎の軟化率 15%以下を維持し、その後なりゆきで予措することにより鱗葉の発生を軽減することが適切であると考えられた。

第 4 節 予冷库内を好適な相対湿度とする除湿機の稼働時間の解明

1. 緒言

第 2 節において、ワケギ鱗茎の低温貯蔵時の有効な包装方法は、予冷库内の直接の送風を避け一定の換気を目的として、開口率約 1%の有孔ポリエチレン袋に鱗茎を入れ、その包装内の湿度は約 70~90 RH%とする方法であることを明らかにした。現地での鱗茎の低温貯蔵を想定した場合、生産物の出荷までの予冷に利用されている既存の予冷库は庫内湿度が高湿度となること

が予想される。

そこで、予冷库内で一定時間除湿機を稼働させ鱗茎の低温貯蔵に好適な湿度条件を維持することを目的とし、除湿機の稼働時間が庫内湿度に及ぼす影響を明らかにした。また、併せて玄米保管用の貯蔵庫の庫内湿度を計測し、ワケギの鱗茎貯蔵への利用可能性を明らかにした。

2. 材料および方法

広島県立総合技術研究所農業技術センターの予冷库(冷蔵ユニット PUA08E-E, W170×L170×H220 cm, 780 W, (株)三菱重工)内で、1時間当たり除湿機(MJ-180DX, 400 W, (株)三菱電機)を15(以下, 15分区), 30(以下, 30分区), 45(以下, 45分区)および60分(以下, 60分区)稼働させる区を設定し、対照として0分の区を設けた。予冷库内の設定温度は5℃とした。さらに玄米保管用の貯蔵庫(農産物保冷库, GB-14, 1.0 m³, 内寸 W86×L86×H140 cm, 320 W, (株)静岡精機)で保存する区も設け、設定温度を3および5℃, 湿度モードを高湿および低湿とした。貯蔵庫内の温度および湿度は、両貯蔵庫とも2009年5月26日～7月2日に、各処理区について約5日間、自記温湿度計(おんどり TR-72U, (株)T&D)により計測した。なお、自記温湿度計の設置位置は、予冷库では庫内中央部、玄米貯蔵庫では上部は底面から90 cm 下部は底面から3 cm の2箇所とした。実験場所は第1節と同様とした。

3. 結果および考察

異なる除湿機の稼働時間による予冷库内の温度および湿度を図3-18に示した。庫内温度は、いずれの処理区においても4.4～4.8℃であった。庫内湿度は、いずれの区でも±5～10℃の変動がみられたが、処理による湿度の差は保たれていた。対照区の庫内湿度が96 RH%と最も高く、15分区が88 RH%, 30分区が90 RH%, 45分区が81 RH%および60分区が63 RH%であった。

玄米貯蔵庫内の異なる設定温度および湿度モードによる庫内温度および湿度の平均値を図3-19に示した。庫内の設定温度を3℃とした場合、高湿モードでの庫内温度は上部が3.9℃であったが、下部は5.5℃と設定温度より高かった。また、低湿モードでは上部が5.9℃, 下部が6.2℃といずれも設定温度より約3℃高かった。庫内湿度は、高湿モードでは75～82 RH%であったが、低湿モードでは上下の差が大きく下部では55 RH%であった。庫内の設定温度を5℃とした場合、高湿モードでは庫内温度は概ね5℃に保たれたが、低湿モードでは上部で6.8℃, 下部で7.6℃といずれも設定温度より約2℃高かった。庫内湿度は、高湿モードでは87～90 RH%であったが、低湿モードでは下部では57 RH%と低かった。

以上のことから、生鮮物を貯蔵する約1坪の予冷库において、庫内湿度をワケギ鱗茎の貯蔵に適した70～90 RH%とするためには、市販の除湿機(除湿能力17.5L・day⁻¹, 消費電力室温27℃時400 W)を庫内で1時間あたり15～45分稼働することが適していると考えられた。また、湿度調節機能を有する玄米保管用の貯蔵庫では、設定温度より庫内温度が若干高く推移することが確認されたが、設定温度を3～5℃とし湿度設定を高湿度とすることでワケギの鱗茎の貯蔵に適用できることが示唆された。

タマネギはエチレンによって呼吸活性が抑制される青果物に分類される(稲葉ら, 1989)が、鱗茎からのエチレン生成量は少なく、エチレンに対する影響度は低いあるいは中程度とされている(三愛化成商事株式会社, 2016)。ワケギの鱗茎についてもタマネギと同様に鱗茎からのエチレン生成量は少なく、エチレンに対する影響度は低いと推察されるが、貯蔵庫を他の青果物などと共有する場合は、庫内湿度やガス組成の面からも十分に考慮する必要があると考えられた。

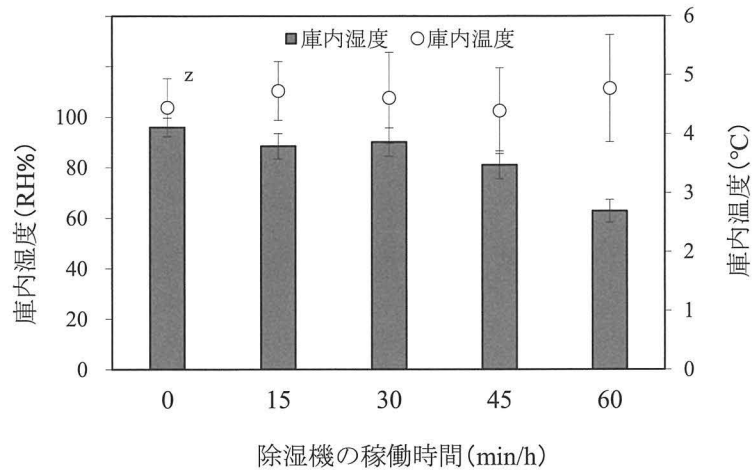


図 3-18 予冷库内での除湿機の稼働時間が庫内相対湿度に及ぼす影響

^a 図中の垂線は標準偏差を示す

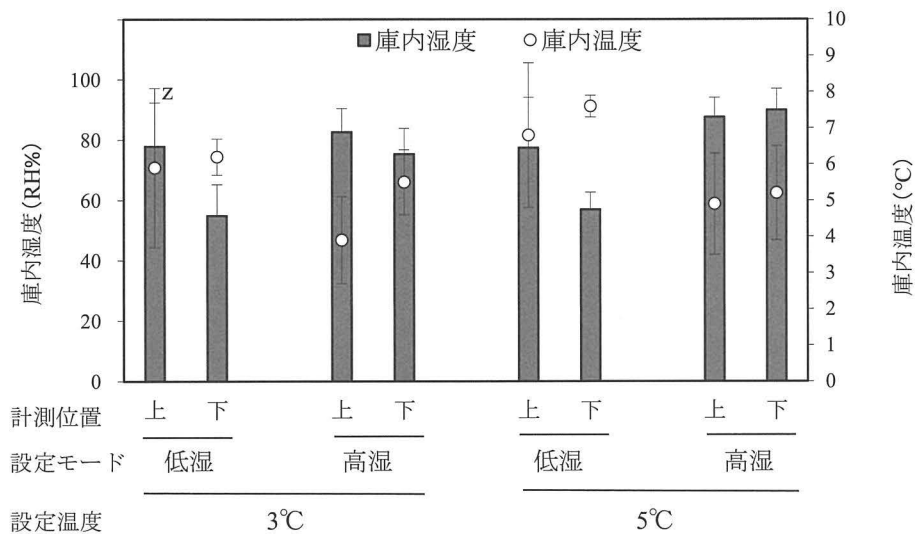


図 3-19 玄米保管用の貯蔵庫内の設定温度および湿度モードと庫内温度および庫内湿度との関係

^a 図中の垂線は標準偏差を示す

第 5 節 結論

年内の定植に利用可能な鱗茎割合の向上を目的として、慣行の軒下への吊り下げ貯蔵におけるワケギ鱗茎の品質変化を明らかにし、低温貯蔵を中心とした貯蔵方法の改善を検討した。

第 1 節では、軒下吊り下げ貯蔵中の鱗茎の品質低下の推移と遮光処理が鱗茎の品質に及ぼす影響を検討した。その結果、軒下吊り下げ貯蔵におけるワケギ鱗茎は、8 月中旬頃に自発休眠および他発休眠から覚醒し、CO₂ 交換速度の増加と重量の減少がみられ始め、9 月上旬から鱗茎の軟化が急激に発生した。これに対し、貯蔵中の遮光処理は、慣行貯蔵と比較して 8 月中旬以降の鱗茎の呼吸速度の増加および乾物での全糖含有率の低下を抑制した。これにより、最終定植時期となる年末における鱗茎重量

の減少を無処理と比較して約 10%, 軟化鱗茎の発生を約 20%抑制し, 定植可能な鱗茎が 20%増加することを明らかにした。

第 1 節の結果を基に, 軒下吊り下げ貯蔵中に他発休眠から覚醒し, 鱗茎の重量低下, 萌芽および軟化が急増し始める 8 月以前(川口ら, 2017)からの貯蔵期間において, 貯蔵中の湿度条件および貯蔵温度が鱗茎の種球品質および定植後の萌芽に及ぼす影響を検討した。その結果, ワケギ鱗茎の品質低下を抑制するための低温貯蔵の開始時期は, 8 月と比較してより早い 7 月が有効であり, 貯蔵温度および湿度は, 5℃以下, 約 70~90 RH%が適当であると判断した。なお, 本実験における湿度条件 70~90 RH%は, 鱗茎を開口率 1%程度で開口した包装内に入れ, 貯蔵庫内の直接の送風を避け適度に換気することで再現可能であったが, 使用する貯蔵庫内の湿度環境に大きく依存するため, 実際現場で使用する予冷库での湿度制御方法の検討が必要であると考えられた。

第3節では, 鱗茎の低温貯蔵により鱗葉が発生し定植後の生育が劣ることが懸念されるため, 鱗茎を低温貯蔵後から出庫時期およびその後の予措処理による生育への影響について検討した。その結果, 鱗茎を掘り上げ後, 低温貯蔵することにより慣行と比較して貯蔵中の品質低下を抑制でき, その効果は貯蔵期間が長いほど大きかった。7月中旬から5℃で貯蔵することで, 年末の定植時の鱗茎の軟化率が慣行の約45%から15%以下に軽減された。鱗茎の低温貯蔵により定植後の鱗葉の発生がみられたが, 発生軽減には低温貯蔵後, 定植前のなりゆきおよび25℃予措が有効であった。25℃予措, あるいは長期間の予措では, 予措中の鱗茎の軟化がみられることから, 短くとも定植60日前の10月下旬まで低温貯蔵し, その後なりゆきで予措することが適切であると考えられた。

第 2 節において, ワケギ鱗茎の低温貯蔵時に有効な包装方法は, 開口率約 1%の有孔ポリエチレン袋内に鱗茎を入れ, その包装内の湿度を約 70~90 RH%とする方法であった。現地での鱗茎の低温貯蔵を想定した場合, 既存の予冷库は庫内湿度が高湿度となることが予想される。そこで, 予冷库内で一定時間除湿機を稼働させ鱗茎の低温貯蔵に好適な湿度条件を維持することを目的とし, 除湿機の稼働時間が庫内湿度に及ぼす影響を明らかにするとともに, 玄米保管用の貯蔵庫のワケギの鱗茎貯蔵への利用可能性を明らかにした。その結果, 生鮮物を貯蔵する約 1 坪の予冷库において, 庫内湿度をワケギ鱗茎の貯蔵に適した 70~90 RH%とするためには, 市販の除湿機(除湿能力 17.5 L/日, 消費電力室温 27℃時 400 W)を 1 時間あたり 15~45 分稼働することが適していると考えられた。また, 湿度設定モードを有する玄米保管用の貯蔵庫では, 設定温度を 3~5℃とし湿度設定を高湿度とすることでワケギの鱗茎の貯蔵に適応できることが示唆された。

第4章 鱗茎の植付け作業における省力・軽労化技術の実用性評価

ワケギの主な栽培作業には、種球(鱗茎)の植付け(本章では開発した簡易移植機の部位名などに従い、‘定植’を用いず‘植付け’とする)、収穫および収穫物の調製作業などがあり(広島県農林水産部, 2006)、これらの省力、軽労化も産地の維持に寄与すると考えられる。特に、鱗茎の植付け作業はつらさ指数(長町, 1995)が最大の 10 に相当する中腰姿勢による手作業が大部分であり(川口・房尾, 2007; 岡田ら, 2010)、栽植密度の高い夏どり栽培の場合、植付ける鱗茎数は 1 a 当たり最大 5000 球(株間 10 cm, 条間 20 cm)に達する。

そこで、2005 年に県内のワケギ栽培農家に対して、植付け作業の軽労・省力・効率化に関するアンケート調査(回答数 185 件、回収率 51%, データ省略, 未発表)を実施した。その結果、栽培作業について「経費の削減」よりも、「軽労化・省力化」を望む回答が多かった。さらに、経営規模が 10 a 以下では 50% 以上、10~50 a では 80% 以上が「作業の機械化」を望んでおり、機械開発の重要性および緊急性が明らかになった。このことから、産地の維持および拡大のための対策の一つとして、作業の軽労・省力・効率化を図る機械化が有効と考えられた。そこで、機械に求められる条件を小型、安価かつ操作が簡易であることとし、簡易移植機を利用した新たな鱗茎植付け方法の実用性を検討した。

第 1 節では、長ネギなどの苗の移植機として全国に普及している簡易移植機(ひっぱりくん®, 日本甜菜製糖(株))のワケギ鱗茎の植付けへの適用性と改良点を抽出した(川口ら, 2014)。第 2 節では、これらを基にワケギ鱗茎の植付けが可能な鱗茎の簡易移植機(以下、球根対応簡易移植機)を開発し(川口ら, 2015a)、「球根対応簡易移植機 ひっぱりくん®HP-12H」(日本甜菜製糖(株))として実用化した。第 3 節では、開発した球根対応簡易移植機を用いたワケギ鱗茎の植付けが作業時間、作業姿勢および自覚的運動強度と植付け後の生育に及ぼす影響を明らかにし、作業性と栽培面からの実用性を明らかにした(川口ら, 2015b)。

第 1 節 簡易移植機を利用した鱗茎の植付け方法の開発とその実用性の検証

第 1 項 連結紙筒を利用した鱗茎の植付け方法の検討

1. 緒言

植付け作業の軽労・省力・効率化を図るため、機械に求められる条件を小型、安価かつ操作が簡易であることとし、連結紙筒を利用した新たな鱗茎植付け方法の実用性を検討した。

2. 材料および方法

ワケギの鱗茎(図 4-1)は種子と異なり、発根部である盤茎が下になるように植付ける必要がある。しかし、形状や大きさが異なる鱗茎を機械で確実に上下方向を認識して植付けることは非常に困難である。また、本県産地の経営規模は、全自動移植機などの高性能農業機械や半自動移植機の開発のための利用規模下限面積(広島県, 2011)を下回っており、加えてこれらの機械を導入する場合には従来行う必要のなかった畝立ても必須になる。セルトレーなどで育苗し、移植する植付け方法も考えられるが、従来は行わない育苗作業の工程が新たに生じるため不適と判断した。

そこで、従来の中腰手作業で行う植付け作業(図 4-2)に対し、既に長ネギなどの苗用の移植機として全国的に普及している簡易移植機(ひっぱりくん®, 日本甜菜製糖(株), 図 4-3A)を利用した鱗茎の植付け方法を検討した。

3. 結果および考察

新たに考案した鱗茎の植付け方法を図 4-4 に示す。本植付け方法の作業工程(川口ら, 2014)は以下のとおりである。

工程①: 連結紙筒(チェーンポット®, 日本甜菜製糖(株), 図 4-3B)に「展開串」を挿入する(図 4-4A)。

工程②: 水稻用育苗箱に連結紙筒を展開し、葉身部および古い根を切断した鱗茎の盤茎を下にして装填する(図 4-4B)。

工程③: 鱗茎の上から培地を充填する(図 4-4C)。

工程④:水稲用育苗箱を水に浸漬し、糊を溶解する(図 4-4D)。

工程⑤:水稲用育苗箱を簡易移植機に装着し、後ろ向きに引っ張る。連結紙筒が一行に展開しながら、溝切り、植付け、覆土が同時に進行する(図 4-4E, F, G)。

作業工程①～⑤は、長期間の育苗を要する苗の移植と比較して短時間の作業であり、作業工程②および③を植付けの準備作業として行うことで即日の植付けが可能である。本植付け方法に用いる連結紙筒は、六角形の紙筒が連結しており、使用前には連結部分の紙が折り畳まれ、糊で接着されている(図 4-5)。この糊は、育苗時の灌水により溶解することから、移植時には一行に容易に展開できる。また、連結部分の長さは、移植時の株間となる。栽植密度が高い夏季から秋季の慣行の作型では、株間が 10～15 cm であることから、利用する連結紙筒はポット間隔が 10 cm および 15 cm の LP303-10 および LP303-15 (264 穴、口径 3 cm×高さ 3 cm)とした。連結紙筒への鱗茎の装填は手作業であるが、従来植付けの準備作業として行われる葉身部および古い根の切断作業と併せて座位姿勢で行うことで、軽労化と効率化が図られると考えられた。本実験で用いた 264 穴の連結紙筒 1 冊への鱗茎の装填に要する時間は、約 7 分であった(データ省略)ことから試算すると、1 a に植付ける最大の鱗茎数(5,000 球)の装填には 19 冊必要で、鱗茎の装填時間は 2 時間余りとなる。簡易移植機の本来の利用方法である長ネギの移植では、展開した連結紙筒に培地を充填後に播種し、一定期間育苗するため、移植時には根鉢が形成され筒状のポットからの苗の脱落はない。また、育苗期間中の灌水により、連結紙筒の糊は移植時には既に溶解しており一行に展開する。これに対し、考案した鱗茎の植付け方法では、鱗茎を連結紙筒に装填後、根鉢が形成されないまま植付けるため、植付け時に連結紙筒からの鱗茎の脱落が想定される。そこで、連結紙筒に鱗茎を装填後、ポットの隙間に培地を充填することで鱗茎の脱落防止を試みた。また、鱗茎を連結紙筒に装填後、育苗を行わず直ちに植付けるため、連結紙筒の糊が十分溶解せず、植付け時に連結紙筒が一行に展開しないことが想定された。そこで、連結紙筒の糊を溶解させるため、植付け前に水浸漬の工程を新たに設けた。この作業工程は、水を入れたコンテナの設置場所や水量を工夫することで、作業者の負担増にはならないと判断された。これらについて、本方法へのワケギ鱗茎の適用性を明らかにするため、第 2 項～第 4 項までの実験を実施した。

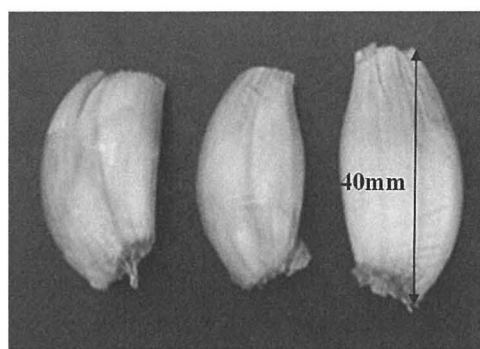


図 4-1 ワケギの鱗茎



図 4-2 ワケギ鱗茎の植付け作業

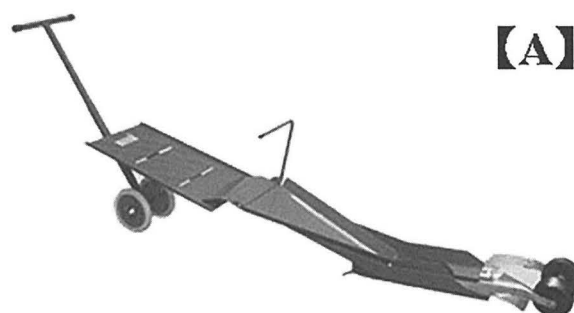
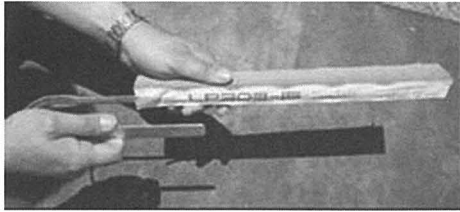
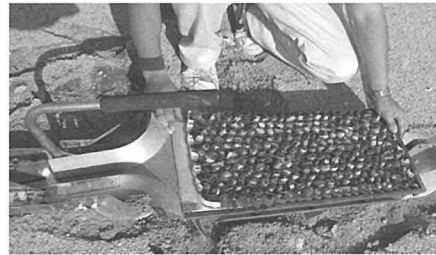


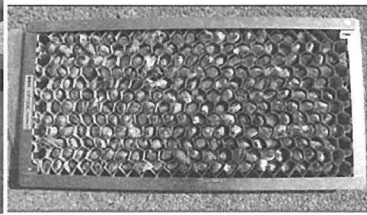
図 4-3 簡易移植機【A】と展開前の連結紙筒【B】



A 連結紙筒に「展開串」を挿入し展開する



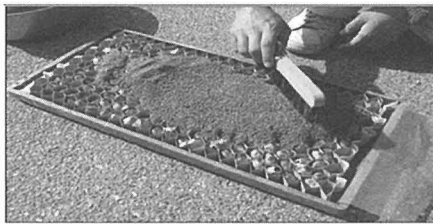
E 水稻用育苗箱を簡易移植機に装着する



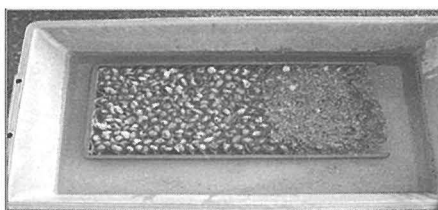
B 水稻用育苗箱に連結紙筒を展開し鱗茎を装填する



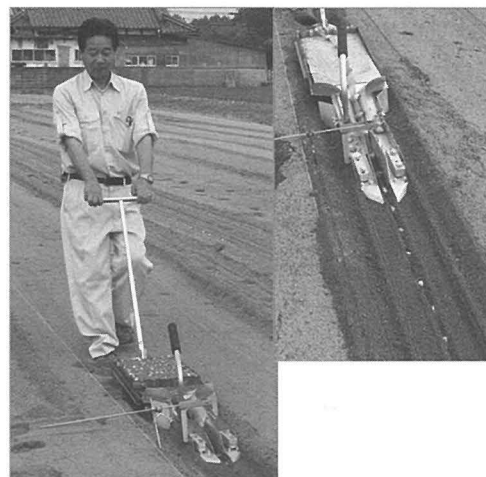
F 連結紙筒の端を引き出し土壤に固定する



C 鱗茎の上から培地を充填する



D 水稻用育苗箱を20～40分水に浸し、
連結紙筒の糊を溶解する



G 簡易移植機を引っ張ることで溝切り、
植付け、覆土が同時にできる

図 4-4 簡易移植機を利用したワケギ鱗茎の植付け方法

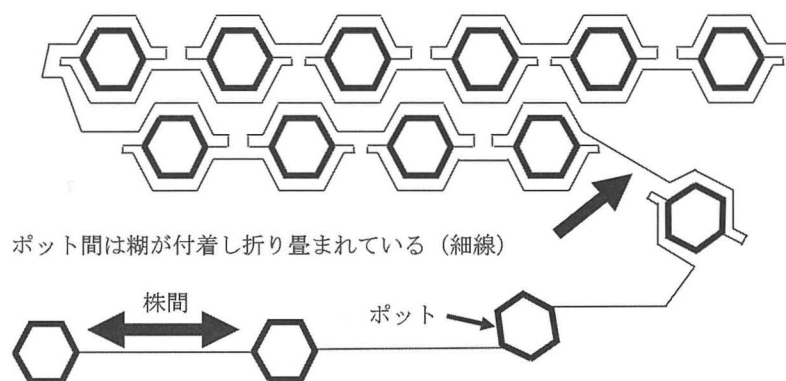
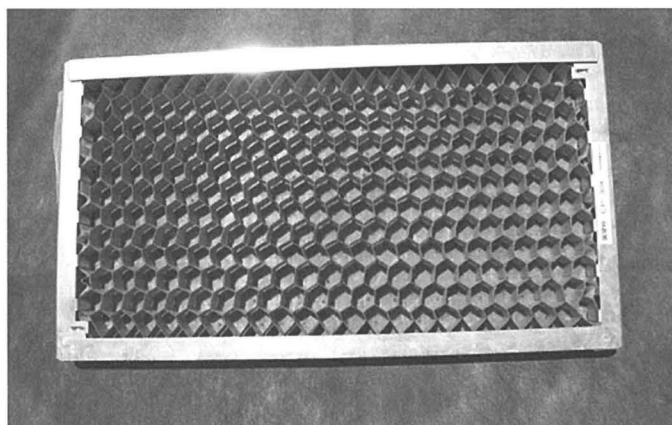


図 4-5 連結紙筒の構造

ポット間の細線には糊が付着されている

第 2 項 連結紙筒に装填可能な鱗茎の大きさの検討

1. 緒言

簡易移植機を利用したワケギ鱗茎の新たな植付け方法が実際の栽培に利用できるかを判断するため、本植付け方法で利用する連結紙筒への装填が可能なワケギ鱗茎の割合を検討した。

2. 材料および方法

2008 年 5 月 23 日に広島県立総合技術研究所農業技術センター(広島県東広島市八本松町, 北緯 34 度 27 分, 東経 132 度 43 分)のビニルハウス(間口 7.2 m, 奥行き 45 m)内で栽培したウイルスフリー化した‘下関’系統のワケギ‘広島 1 号’の鱗茎を掘り上げ、軒下に吊り下げた後、6 月 13 日に無作為に 100 球抽出し、重量および直径を計測した。その後、夏どり栽培での株間である 10 cm で植付けが可能な連結紙筒(LP303-10, 264 穴, 口径 3 cm×高さ 3 cm)への装填の可否を調査した。

3. 結果および考察

ワケギ鱗茎の重量と直径との相関関係および連結紙筒への装填可能性を図 4-6 に示した。本実験に供試した鱗茎の重量は 3.3 ~ 17.5 g, 直径は 16.2 ~ 34.8 mm であり, 鱗茎の重量(y g)と直径(x mm)は一次回帰式 $y = 0.70x - 7.84$ ($R^2 = 0.745$) に近似した。この回帰式では, 実際の作業工程②(図 4-4B)の連結紙筒への装填が可能な鱗茎の重量は 15 g 以下かつ鱗茎の直径は 31 mm 以下であり, 使用した連結紙筒の規格である口径 30 mm とほぼ一致した。また, 装填が可能な鱗茎の割合は, 調査した鱗茎の 94% を占めたことから, 供試した連結紙筒は本植付け方法に利用可能であることが示された。産地で最も栽培面積が多い春どり栽培では, 秋季に植付けた鱗茎を翌年の春季に掘り上げ貯蔵し, 再び秋季に植付ける。掘り上げた鱗茎は, 軒下に吊り下げて貯蔵

するが、植付け前には古い根と葉身を切除する。貯蔵中の鱗茎の重量は、呼吸消耗により減少し、秋季には春季の掘り上げ時の約 40%にまで低下する(川口・房尾, 2007)。本実験では、掘り上げて間もない 6 月に鱗茎の連結紙筒への装填の可否を検討している。6 月以降に植付ける夏どり栽培、秋どり栽培および春どり栽培では、貯蔵中の呼吸消耗によりさらに鱗茎の重量が減少し球径が小さくなると考えられる。このことから、連結紙筒に装填が可能な鱗茎割合は本実験と同等以上の数値になると推測された。さらに、ワケギの分けつ機構はネギと同様とされ(長谷川, 1990b)、鱗茎の葉鞘内で分球しているため葉鞘を一枚除去した後あるいはそのまま分割することができる。本実験では鱗茎を分割していないが、鱗茎の直径 31 mm を目安とし、これを上回る鱗茎についても、分割することで紙筒への装填が可能となると判断された。

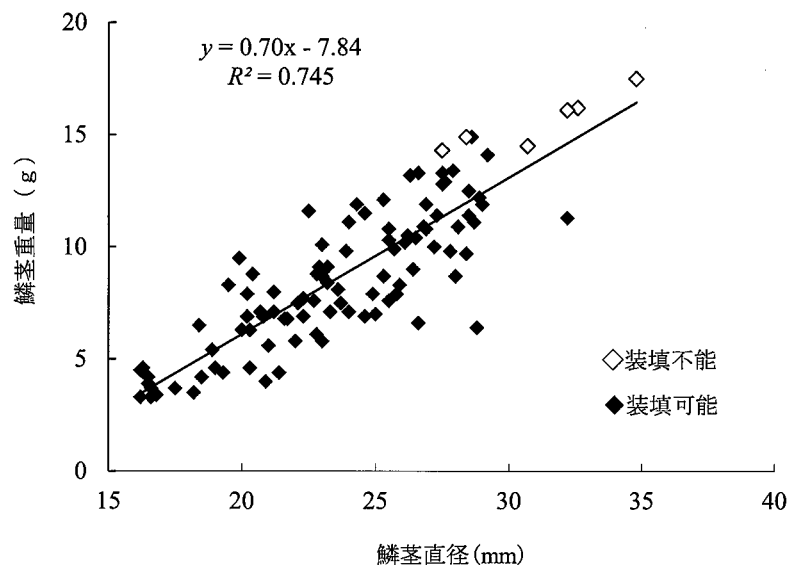


図 4-6 ワケギ鱗茎の重量と直径との相関関係および連結紙筒への装填可能性

第 3 項 連結紙筒の浸漬時の水温が糊の溶解時間に及ぼす影響

1. 緒言

簡易移植機を利用してワケギ鱗茎を植付けるためには、接着された連結紙筒の糊を溶解し展開する必要がある。連結紙筒の従来の利用方法では、育苗期間中の灌水により連結紙筒の糊が溶解するが、本植付け方法では育苗および灌水を行わないため、一定時間の浸漬により糊を溶解させる必要がある。

そこで、連結紙筒の糊を溶解するための浸漬作業工程(図 4-4D)について、浸漬時の水温と糊の溶解時間との関係を調査した。

2. 材料および方法

2008 年 3 月 9 日, 11 日および 16 日に、容量 85 L (W55 cm×L85 cm×H19 cm)のプラスチック製コンテナに 20℃, 30℃および 40℃(以下、20℃区, 30℃区および 40℃区)の水を深さ約 10 cm まで入れ、連結紙筒の浸漬処理を行った。水稻育苗箱(W 30 cm×L60 cm×H3 cm)に展開した連結紙筒(LP303-10)に育苗培地(N:P₂O₅:K₂O=150:1,000:150 mg・L⁻¹, ジェイカムアグリ(株))を充填した後、各温度の水に浸漬し糊の溶解時間を調査した。糊の溶解時間は、浸漬開始から浸漬中の連結紙筒を手指で開き、抵抗無く展開するようになった時点までの時間とした。調査は、各調査日に全ての温度水準について 1 回ずつ実施し、3 日で 3 反復とした。実験場所は第 2 項と同様とした。

3. 結果および考察

浸漬処理中の水温は、各処理区の設定温度±2℃を維持した(データ省略)。水温が連結紙筒の糊の溶解時間に及ぼす影響

について図4-7に示した。連結紙筒の糊の溶解時間は、30℃区で最も短く21.6分であり、次いで20℃区で34.6分、10℃区で43.3分であり、水温による明確な差がみられた。このことから、長ネギのように育苗して移植する連結紙筒の利用方法とは異なり、鱗茎を装填した直後に植付ける方法においては、連結紙筒を一定時間水に浸漬し、糊を溶解させることで植付け時に展開可能となること

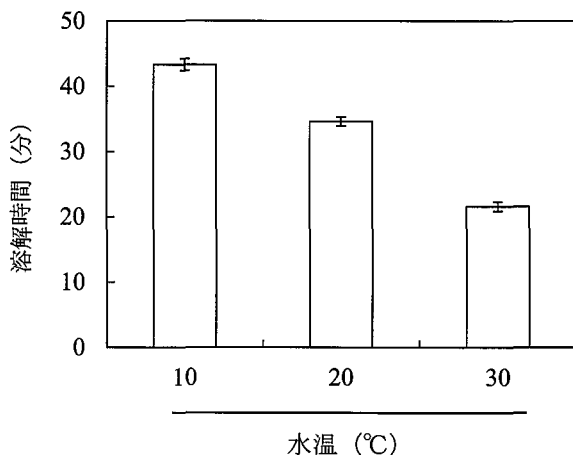


図 4-7 水温が連結紙筒の糊の溶解時間に及ぼす影響

図中の垂線は標準誤差 (n=3) を示す

が明らかになった。本実験での処理温度は、3月から年内の植付け時期における井戸水の水温として、冬季の10℃、秋季の20℃および夏季の30℃を想定しており、営利栽培における植付け時期の水温に応じた浸漬時間の目安になると考えられた。浸漬時の水温および浸漬時間が鱗茎植付け後の生育に及ぼす影響については、本実験より低温かつ長時間の0℃、4日間の冷水への浸漬がワケギの休眠打破に有効であり、植付け後の生育が優れることが報告されている(小林・桐村, 1993)。また、秋季に植付け翌春に収穫する春どり栽培において、鱗茎の植付け後、氷点下となる冬季に葉身の伸長や分けつが停滞するが枯死せず、気温の上昇とともに第二次生育期へ移行することからも、本植付け方法でのワケギ鱗茎への10℃、43分の浸漬処理は、植付け後の生育に悪影響を及ぼさないと推測された。一方、30℃以上の水温の浸漬処理については、ユリ科に属するテッポウユリやスカシユリでは、それぞれ休眠打破(小林, 2004)や切り花品質の向上(坂井ら, 1993)を目的とした40℃、30分以上の温湯浸漬処理が実用化されている。ワケギの夏どり栽培では、植付け時の鱗茎は既に休眠覚醒しており、植付け後の栄養成長量が収量となる。しかし、栽培期間中の長日により収穫、出荷に至るものの鱗茎が肥大、葉身伸長が停滞し、高温がこれを助長する(長谷川ら, 1979)。本植付け方法での30℃、22分間の鱗茎の浸漬処理は、栽培期間中の高温に遭遇する期間と比較すると著しく短い、植付け後の生育に悪影響を及ぼす可能性が懸念された。その一方で、鱗茎の浸漬による植付け後の生育については、これまで鱗茎の休眠打破を目的とした減圧吸水処理技術(長谷川ら 1981, 1991)が実用化されていることから悪影響は無いと考えられる。これらのことから、第4項では、植付け時の水温が高い夏どり栽培において、浸漬作業工程を含めた本植付け方法がその後の生育に及ぼす影響を明らかにし、営利栽培への利用の可能性について検討した。

第4項 鱗茎重量と培地の充填が植付け精度および生育に及ぼす影響

1. 緒言

簡易移植機によりワケギ鱗茎を植付け、その後の生育に及ぼす影響を明らかにし栽培面からの実用可能性を判断するとともに、植付け精度を向上し簡易移植機を鱗茎の植付けに対応させるための問題点および改良点を調査した。

植付け精度については、植付け深さ、植付け時の連結紙筒からの鱗茎の脱落、連結紙筒の機体へのひっかかりや転

倒について調査した。植付け深さについては、慣行のワケギ鱗茎の植付けでは、全体を土中に埋め込まず、2/3 程度を土中に埋める。このことは、植付け深さが深い場合は鱗茎が土中に埋まり萌芽が遅れ、逆に浅い場合は発根部分である盤茎が土壌表面に露出し発根が遅れ、生育不良や収穫期の遅延が起これと考えられるためであり、鱗茎を一定の深さで植付ける精度が求められる。

2. 材料および方法

ウイルスフリー化した‘下関’系統のワケギ‘広島 1 号’の鱗茎を重量 3～5 g 未満(以下、小球区)、5～8 g 未満(以下、中球区)および 8～12 g 未満(以下、大球区)に分類した。2012 年 7 月 13 日に水稻用育苗箱に展開した連結紙筒(LP303-10;植付け後のポット間隔 10 cm)へ各サイズの鱗茎を装填し、上から培地(N:P₂O₅:K₂O=150:1,000:150 mg・L⁻¹, ジェイカムアグリ(株))を充填した区(以下、培地あり区)および充填しない区(以下、培地なし区)を設けた。広島県立総合技術研究所農業技術センター内のビニルハウス内において、各処理区の連結紙筒を平均 30℃の水に 30 分間浸漬した後、簡易移植機(ひっぱりくん®HP-6, 日本甜菜製糖(株))で植付け、連結紙筒からの鱗茎の脱落、植付け深さ、機体の植付け溝(2 枚の「苗ガイド板」の間、図 4-8A, B)への連結紙筒の引っかかりおよび転倒について調査した。なお、植付け時の鱗茎の脱落は、鱗茎が機体上および土壌表面で連結紙筒から外れた状態とした。植付け深さは、土壌表面と連結紙筒上辺との距離とし、連結紙筒の上辺が土壌表面より上の場合は「+」、下の場合は「-」表示とした。植付け溝への連結紙筒の引っかかりは、連結紙筒が植付け溝となる「苗ガイド板」間に引っかかり切れそうになった状態、転倒は連結紙筒が「苗ガイド板」間で転倒した状態とした。また、対照として簡易移植機を使わず慣行と同様に鱗茎の 2/3 程度を土中に埋める手植え区を設けた。圃場への施肥は、土壌の pH が 6.1, EC が 0.96 dS・m⁻¹であったため行わなかった。栽培中の灌水開始点は、畦面から深さ 10 cm の土壌水分張力が pF2.1 に達した時点とし、点滴チューブを用いて 1 回当たり 5 mm に相当する量を灌水した。栽植密度は、株間(ポット間隔)10 cm, 条間 20 cm で 1 a 当たり 5,000 株とした。正常に植付けられた鱗茎について萌芽日と植付け 5 日後の発根状況を調査し、収穫適期である草丈 40 cm に達した 8 月 13 日に生育状況を調査した。収量に相当する調製重は、株を掘り上げて分割後、枯死した葉身を除去し、根を約 1 cm 残して切除して計測した。なお、調製した株から盤茎を除去した部位が可食部である。鱗茎の肥大程度は加藤(1963)の方法に従い、葉鞘基部の最大横径を最小横径となる交合部径で除した値で表した。各調査における 1 区当たりの標本数は、鱗茎の脱落率、植付け深さ、連結紙筒の引っかかりおよび転倒については 48 球、発根状況については 10 株としそれぞれ 3 反復とした。萌芽および収穫適期の生育は、植付け時に鱗茎の脱落、紙筒の引っかかりおよび転倒がなく植付け深さが±15 mm 以下の鱗茎について 20 株の 3 反復で調査した。

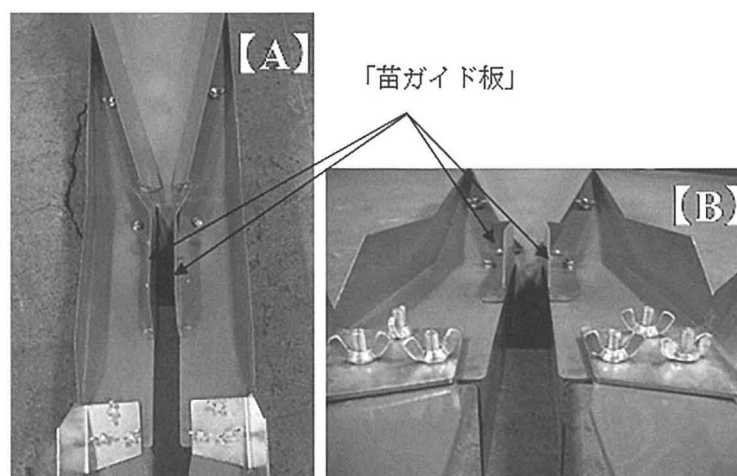


図 4-8 植付け溝の苗ガイド板
【A】上からの写真と【B】先端からの写真

3. 結果および考察

簡易移植機を利用した鱗茎植付けにおける鱗茎重量と培地の充填が植付け精度に及ぼす影響について表 4-1 に示した。植付け時の連結紙筒からの鱗茎の脱落は、培地あり区ではみられず、培地なし区では小球区、中球区、大球区の順に多かった。このことから、鱗茎装填後の連結紙筒へ培地を充填することにより、鱗茎サイズにかかわらず植付け時の連結紙筒からの鱗茎の脱落を防止することができることが明らかになった。植付け深さの最大値、平均値および最小値には、処理による有意な差はみられなかった。植付け深さのばらつきは、最大 42.7 mm であった。鱗茎の高さは 30~40 mm 程度であり、本実験での植付け深さのばらつきはこれを上回った。このことは、極度の深植えや浅植えが生じることを示す。これらのことから、今後の鱗茎の植付けに対応した新機種の開発において、ワケギ鱗茎を慣行と同じ深さに植付けするための溝切り部分(「溝切り器」)の高さの設定および土壌表面を均す機構の付加などによる植付け深さの均一化に留意することが重要と考えられた。連結紙筒の「苗ガイド板」間への引っかかりは、培地の有無に関わらず大球区のみで発生した。連結紙筒に装填した鱗茎が大きいと、連結紙筒が機体から土壌表面に排出される際に「苗ガイド板」の間に挟まり、正常に連結紙筒が排出されず切れたためであった。簡易移植機の既存機種の「苗ガイド板」間の幅は、最小部分が 26 mm であった。第 3 項において、ワケギ鱗茎の植付けへの利用を想定している連結紙筒に装填可能な鱗茎の直径は 31 mm であったことから、新機種では「苗ガイド板」間の幅を 31 mm 以上とする必要があると判断された。連結紙筒の転倒は、培地の有無に関わらず小球区および中球区で発生した。連結紙筒の転倒は、連結紙筒が機体から排出され、接地後、覆土までの間に発生することから、対策として「苗ガイド板」を延長し、覆土直前まで連結紙筒の姿勢を保持することが有効と考えられた。

簡易移植機を利用した鱗茎植付けにおける鱗茎重量と培地の充填が萌芽日および植え付け 5 日後の発根に及ぼす影響を表 4-2 に示した。萌芽日数は、植付け方法および培地の有無に関わらず鱗茎重量が小さいほど短かった。植付け 5 日後の発根状況については、最大根長および根重量には処理による有意な差はみられなかったが、根数は培地あり区が培地なし区と比較して多かった。本項では、鱗茎装填後に充填する培地として、実験圃場のマサ土と比較し保水力の高い市販の育苗培地を使用しており、植付け直後の盤茎周辺の水分状態が発根に促進的に作用したためと考えられた。

簡易移植機を利用した鱗茎植付けにおける鱗茎重量と培地の充填が植付け後の生育に及ぼす影響について表 4-3 に示した。収穫時の調製重および分けつ数は、植付け方法および培地の有無に関わらず鱗茎重量が大きい区ほど大きかった。草丈は、対照区と比較して機械植え区で大きく、鱗茎重量が大きい区ほど大きかった。交合部径には、処理による有意な差はみられなかった。植付け方法および培地の有無に関わらず鱗茎重量が大きい区ほど葉鞘基部径が小さかった。前述のとおり、ワケギ(川口ら, 2014)、ニンニク(平尾・横井, 1963)およびラッキョウ(佐藤・田辺, 1970)において鱗茎の重量が大きいほど収穫時の葉数、草丈、葉幅および分球数が大きいとの報告がみられる。本実験においても、これと同様に鱗茎重量が大きいほど成長が旺盛となったことから、植付け時の鱗茎の状態と植付け後の成長との間には密接な関係があると考えられた。一方、植付け方法や培地の有無による成長の差はみられず、慣行の手植えと同等であった。鱗茎の肥大指数は、対照区と比較して機械植え区で小さかった。本実験での処理区における鱗茎の肥大程度の差は前述の日長や温度によるものではなく、連結紙筒の形状が収穫時にも維持されていたことから、栽培期間中に連結紙筒が物理的に鱗茎の肥大を抑制したためと考えられた。広島県内の生産者圃場での夏どり栽培では、長日と高温により鱗茎が肥大し品質が大きく低下することから(長谷川ら, 1979)、連結紙筒を利用した鱗茎の植付けにより鱗茎の肥大が抑制されることは新たな付加価値といえる。

以上のことから、簡易移植機と連結紙筒を利用したワケギの鱗茎の植付けは、つらい中腰姿勢を回避した立ち姿での作業が可能であった。正常に植付けられた鱗茎については、慣行の手作業で植付けられた鱗茎と同等の生育および収量を示したことから、営利栽培への実用可能性が示された。しかし、簡易移植機の既存機種による鱗茎の植付けは、植付け深さが不均一となること、植付け時の鱗茎の転倒および機体への引っかかりが生じることが問題となった。このことから、今後、簡易移植機の既存機種を基本としこれらを解決する新たな機構に加え、小型、軽量化することで、ワケギ鱗茎の植付けに対応した新機種を開発することとした。

表 4-1 簡易移植機を利用した鱗茎植付けにおける鱗茎重量と培地の充填が植付け精度に及ぼす影響

培地の充填	鱗茎 ^z 重量	脱落率 ^y (%)	植付け深さ ^x (mm)				連結紙筒の ひっかかり ^v (回/4.8 m)	連結紙筒の転倒 ^u (回/4.8 m)
			最大値	平均値	最小値	範囲 ^w		
なし	小球	16.1	16.0	6.2	-19.3	29.3	0	2.0
	中球	7.6	18.7	2.4	-19.3	31.0	0	1.7
	大球	1.4	19.7	0.6	-12.3	29.0	1.0	0
あり	小球	0	17.7	1.2	-13.0	29.3	0	1.7
	中球	0	23.3	2.3	-12.3	42.7	0	2.7
	大球	0	17.0	-0.6	-9.7	37.0	2.0	0
【各要因別の平均値】								
なし		8.4	18.1	3.1	-11.7	29.8	0.3	1.2
あり		0	19.3	0.9	-17.0	36.3	0.7	1.4
	小球	8.1a ^t	18.3	3.7	-11.0	29.3	0	1.8
	中球	3.8ab	21.0	2.3	-15.8	36.8	0	2.2
	大球	0.7b	16.8	0.0	-16.2	33.0	1.5	0
(統計処理 ^s)								
培地の充填		** ^r	NS	NS	NS	NS	NS	NS
鱗茎重量		*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z 小球：3 g以上5 g未満，中球：5 g以上8 g未満，大球：8 g以上12 g未満

^y 植付け時に連結紙筒から機体上および土壌表面に脱落した鱗茎の割合

^x 植付け後の連結紙筒の上辺と覆土の表面間の距離

^w 植付け深さの最大値と最小値の差

^v 植付け時に連結紙筒が「苗ガイド板」間にひっかかった回数

^u 植付け時に連結紙筒が「苗ガイド板」間で転倒した回数

^t 同一の英文字を付した数値間には，Tukeyの多重検定により有意差（P<0.05）が無いことを示す

^s 培地の充填はt検定，鱗茎重量は分散分析を行った

^r *は5%，**は1%水準で有意，NSは有意差が無いことを示す

表 4-2 簡易移植機を利用したワケギ鱗茎植付けにおける鱗茎重量と培地の充填が萌芽日および植付け 5 日後の発根に及ぼす影響

植付け方法	培地の充填	鱗茎 ^z 重量	萌芽日数 (日)	根数 (本)	最大根長 (mm)	根重量 (g)
機械植え	なし	小球	5.3	10.4	4.7	0.11
		中球	7.0	9.6	4.2	0.10
		大球	6.4	9.8	4.3	0.10
	あり	小球	4.8	12.4	5.5	0.14
		中球	5.6	12.6	4.9	0.13
		大球	6.7	17.7	4.8	0.21
手植え（対照）		小球	5.4	10.2	5.0	0.09
		中球	5.1	9.6	4.1	0.09
		大球	5.9	11.5	4.6	0.14
【各要因別の平均値】						
機械植え			6.0	12.1	4.7	0.13
手植え			5.5	10.4	4.6	0.11
なし			6.2	9.9b	4.4	0.11
あり			5.7	14.2a	5.0	0.16
小球			5.1b ^y	11.0	5.1	0.11
中球			6.0ab	10.6	4.4	0.11
大球			6.4a	13.0	4.5	0.15
(統計処理 ^x)						
植付け方法			NS ^w	NS	NS	NS
培地の充填			NS	*	NS	NS
鱗茎重量			**	NS	NS	NS

^z小球: 3 g 以上 5 g 未満, 中球: 5 g 以上 8 g 未満, 大球: 8 g 以上 12 g 未満

^y同一の英文字間を付した数値間には, Tukey 法および t 検定により有意差 (P<0.05) が無いことを示す

^x植付け方法および培地の充填は t 検定, 鱗茎重量は分散分析を行った

^w*は 5%, **は 1%水準で有意, NS は有意差が無いことを示す

表 4-3 簡易移植機を利用したワケギ鱗茎植付けにおける鱗茎重量と培地の充填が植付け後の生育に及ぼす影響

植付け方法	培地の充填	鱗茎 ² 重量	調製重 (g)	草丈 (cm)	分けつ	交合部径 (mm)	葉鞘基部径 (mm)	肥大指数 ³
機械植え	なし	小球	29.5	43.1	8.5	6.3	10.8	1.75
		中球	40.5	45.4	12.5	6.7	10.2	1.55
		大球	49.7	46.0	16.3	6.4	9.7	1.53
	あり	小球	32.8	42.6	7.8	6.5	11.9	1.84
		中球	41.9	44.4	12.7	6.5	10.6	1.63
		大球	44.4	43.6	14.1	6.5	9.6	1.51
手植え（対照）		小球	24.7	40.7	7.0	6.3	11.5	1.83
		中球	37.5	41.5	12.0	6.1	11.1	1.84
		大球	47.1	45.3	15.8	6.5	10.0	1.53
【各要因別の平均値】								
機械植え			39.8	44.2	12.0	6.5	10.5	1.63
手植え			36.4	42.5	11.6	6.3	10.8	1.73
	なし		39.9	44.9	12.5	6.4	10.3	1.61
	あり		39.7	43.5	11.5	6.5	10.7	1.66
		小球	29.0c ^x	42.1b	7.8c	6.3	11.4a	1.81a
		中球	40.0b	43.8ab	12.4b	6.4	10.6ab	1.67b
		大球	47.1a	45.0a	15.4a	6.5	9.8b	1.52c
(統計処理 ⁴)								
植付け方法			NS ^v	**	NS	NS	NS	**
培地の充填			NS	NS	NS	NS	NS	NS
鱗茎重量			**	**	**	NS	*	**

² 小球：3 g以上5 g未満，中球：5 g以上8 g未満，大球：8 g以上12 g未満

³ 葉鞘基部径/交合部径

^x 同一の英文字を付した数値間には，Tukeyの多重検定により有意差（ $P<0.05$ ）が無いことを示す

^v 植付け方法および培地の充填はt検定，鱗茎重量は分散分析を行った

*は5%，**は1%水準で有意，NSは有意差が無いことを示す

第2節 鱗茎の植付けに対応した簡易移植機の開発と植付け精度の評価

第1節において，植付け作業の省力・軽労化を目的に長ネギなどの苗の移植機として全国的に普及している簡易移植機（伊垢離ら，2011）を改良した新たな鱗茎の植付け方法について検討した（図4-4，川口ら，2014）。本方法では鱗茎を装填した後，育苗をせずにそのまま植付ける点が従来の方法と大きく異なることから，以下の点が問題となった。

①連結紙筒に鱗茎を装填した後は育苗せずに植付けるため，植付け時に連結紙筒の糊が溶解しておらず，そのままでは一列に展開しない。

②植付け時に紙筒内で根鉢が形成されていないため，鱗茎が連結紙筒から脱落しやすい。

前節ではこれらの問題を解決して本方法の実用性を明らかにするとともに，鱗茎の植付けに対応した新機種を開発するために必要な機能と改善点を検討し（川口ら 2014），機械が具備する条件を明らかにした。また，広島県のワケギ産地は一筆の圃場面積が小規模であることから，圃場の利用率を高めるために圃場の端まで鱗茎を植付ける。さらに，高齢者や女性も頻繁に植付け作業を行うことから，機体の小型・軽量化も必要であると考えられた。

そこで，本節では既存機種を基に上記の問題を解決するための新たな機構を加えるとともに，小型・軽量化を図りワケギ鱗茎の植付けが可能な浅植えに適した簡易移植機（ひっぱりくん®HP-12H，日本甜菜製糖（株））を開発し，その植付け精度を評価した。

第1項 鱗茎の植付けに対応した簡易移植機の開発

1. 緒言

簡易移植機を鱗茎の植付けに対応させるため，図4-9Aに示す既存機種を基に構造の小型・軽量化について検討した。特に，ワケギ鱗茎の植付けでは，移植苗よりも小さい鱗茎を，育苗せず根鉢が形成されていない状態で，機体上での連結紙筒からの脱落，連結紙筒の転倒および引っかかりが無く，確実に連結紙筒を引き出し，均一の深さに植付ける必要がある。さらに，一部の産地で

行われている作溝した溝底への植付けにも対応させる必要がある。これらのことから、植付け深さの精度向上、連結紙筒の搬送精度の向上および溝底への植付けへの対応の3点について重点的に検討した。

2. 材料および方法

1) 鱗茎の植付けに対応した構造変更の概要と小型・軽量化

開発機種では鱗茎の植付けに対応させるため、既存機種の機能を維持し、植付け精度の向上や植付け時の鱗茎の転倒、機体へのひっかかりおよび脱落防止を主な目的とした新たな機構の付加や構造の変更を行った。さらに、機体の構造の簡略化、全長の短縮や素材の薄板化により小型・軽量化を検討した。

2) 鱗茎の植付け精度向上ための各項目への対応

(1) 植付け深さの精度向上

既存機種による鱗茎の植付けでは、植付け深さの均一性に問題があった(川口ら, 2014)。植付け深さの最大値と最小値の差は最大 42.7 mm で鱗茎の高さ(30~40 mm)を上回り、鱗茎の土中への埋没や発根部分である盤茎の土壌表面への露出が生じた。このことから、鱗茎の植付けでは、草丈の大きい苗を移植する場合と比較してさらに高精度に一定の深さで植付ける必要があると判断し、植付け深さの精度を向上させるための機構の新設と改良を行った。

(2) 連結紙筒の搬送精度の向上

既存機種による鱗茎の植付けでは、2枚の「苗ガイド板」(図 4-9A)の間で鱗茎の転倒および機体へのひっかかりが生じ、正常な植付けができないことがあった(川口ら, 2014)。鱗茎が転倒した原因として、連結紙筒が機体から排出された直後に苗ガイド板による保持がないことに加え「培土板」(図 4-9A)による覆土が遅れることが考えられた。また、鱗茎が機体にひっかかった原因は、連結紙筒に装填した鱗茎が大きいと連結紙筒が機体から土壌表面に排出される際に苗ガイド板の間に挟まり正常に排出されなかったためと考えられた。そこで、鱗茎の転倒および機体へのひっかかりを防ぐため、苗ガイド板間を容易に調整できるようにするとともに寸法および構造を変更した。

また、植付け時の機体上での連結紙筒からの鱗茎の脱落は、これまで連結紙筒に鱗茎を装填後、上から培土を充填することで概ね回避できることを明らかにしている(川口ら, 2014)。しかし、連結紙筒は底面がない個々の紙筒が連結されており、機体に設置した水稻用育苗箱から「植付け部」(図 4-9A)までの搬送経路に段差があると、連結紙筒の下辺と機体や水稻用育苗箱の間に空隙が生じ鱗茎が抜け落ち欠株となる。既存機種では連結紙筒を「車輪・苗台部」(図 4-9A)に装着した水稻用育苗箱から植付け部へ搬送するため、機体に装着されている「苗引き出し板」(図 4-9A)を事前に水稻用育苗箱と連結紙筒の間に挿入しておく必要がある(図 4-10)。これにより、水稻用育苗箱と苗引き出し板の間および苗引き出し板と植付け部の間に共に $24^{\circ} \sim 27^{\circ}$ の傾きが生じ、連結紙筒から鱗茎が脱落する原因になると考えられた(図 4-11A)。そこで、機体上の段差を解消するため苗引き出し板を省略し、新たな機構を付与した。

さらに、ワケギ鱗茎の植付けへの利用を想定している連結紙筒(LP303-10, LP303-15, 日本甜菜製糖(株))の個々の紙筒の間隔は、夏季および秋季の栽培での株間と同様の 10 および 15 cm で長ネギなどに利用される連結紙筒(CP303, 日本甜菜製糖(株))の 5 cm と比較して長く、植付け時の展開前にはより長い紙が紙筒間に折り畳まれている。このため、連結紙筒の搬送経路において、従来の連結紙筒と比較して複数の紙筒が同時に引き出されることなく個々の紙筒が 1 つずつ確実に引き出される必要がある。そこで、連結紙筒を確実に順次引き出し展開するために、車輪・苗台部および植付け部と接地面のなす角度を部分的に変更した。

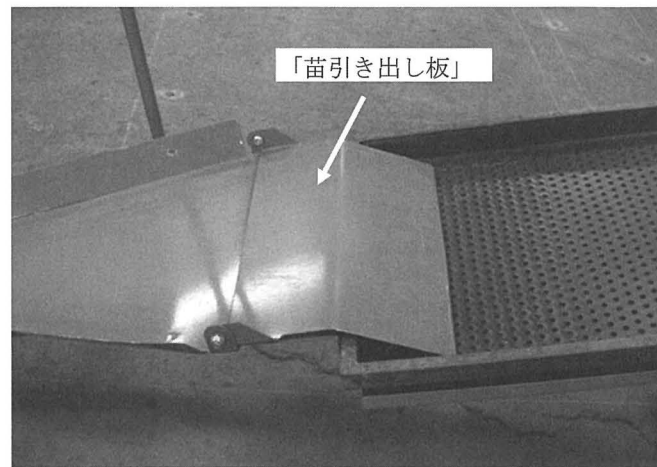


図 4-10 「苗引き出し板」の装着状況

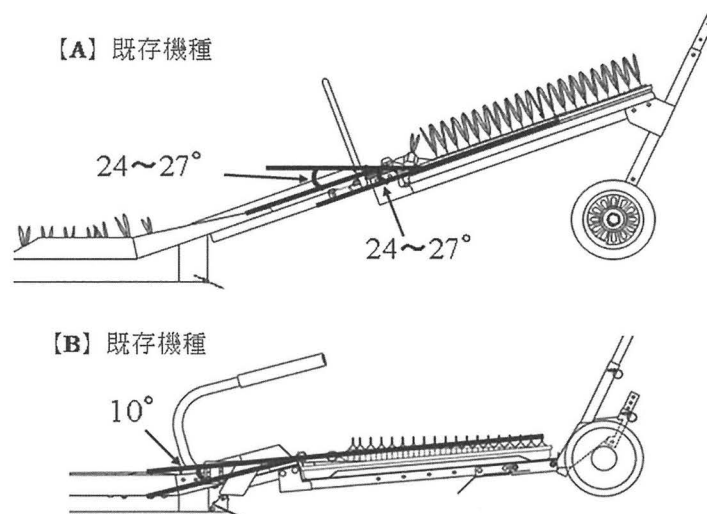


図 4-11 既存機種【A】および開発機種【B】の搬送経路における機体の角度

(3) 溝底への植付けの対応

広島県のワケギ産地では、耕起した後の平らな圃場にそのまま鱗茎を植付ける方法と土壌水分の蒸発および地温の上昇の抑制を目的として溝底に植付ける方法がある。溝の深さは 100～130 mm、最大幅は 300～350 mm、底の幅は約 150 mm であり、機械の幅が溝底の幅より小さいと溝内を走行できると考えられた。

そこで、溝底への植付けが可能となるよう機体の寸法を検討するとともに、植付けの際の各構成部品の設定を検討した。

3. 結果および考察

1) 鱗茎の植付けに対応した構造変更の概要と小型・軽量化

既存機種および開発機種の概要図を図 4-9 に、開発機種の外観を図 4-12 に示した。さらに、開発機種における構造変更と新設箇所および鱗茎植付けの精度向上のための各目的に応じた変更箇所を表 4-4 に示した。開発機種は既存機種と同様に連結紙筒の搭載および搬送を行う車輪・苗台部と溝切り、植付けおよび覆土を行う植付け部が機体のほぼ中央で接続されていることか

ら、これら二つの部分に分け詳細を記述する。開発機種における主な機構の新設や構造の変更点を進行方向順に以下に示す。車輪・苗台部は、外径 180 mm の「車輪」(図 4-9B)を機体の前部に配置した。圃場の土壌表面が膨軟で機体の進行が困難な場合は、車輪をオプション部品の「そり」に変更できる(図 4-13)。鱗茎の植付け深さを一定とするため「苗台」(図 4-9B)の下に土壌を均平化する「苗台土寄せ板」(図 4-9B)を新たに設け、これを機能させるため苗台の位置を下げた。連結紙筒からの鱗茎の脱落を防止するため「スロープ板」(図 4-9B)を新たに設け、展開した連結紙筒と水稻用育苗箱の間に挿入することで、機体上の鱗茎の搬送経路における段差を解消した。植付け部では「チゼル」(図 4-9B)の角度を可変とし、「溝切り器」(図 4-9B)は移植苗と比較して小さな鱗茎に対応させるため高さを削減した。また、溝底への植付け時には新たに設けた「補助溝切り器」(図 4-18)を溝切り器の底に固定し使用することとした。

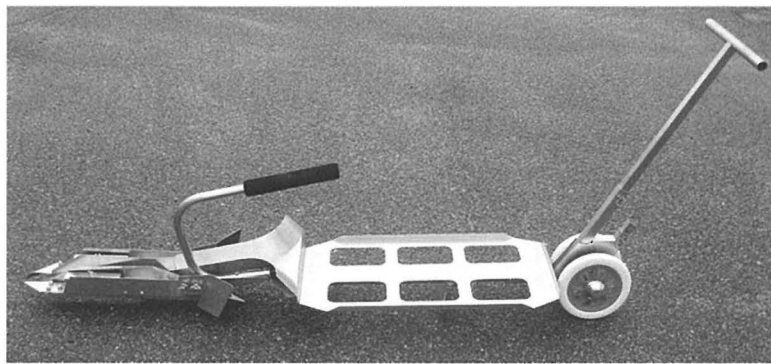
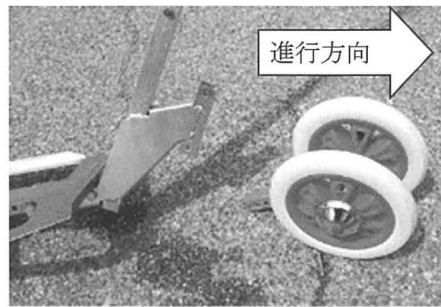


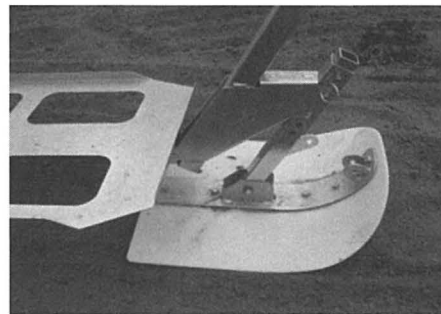
図 4-12 開発したワケギ鱗茎の植付けに対応した簡易移植機

表 4-4 開発機種における構造変更と小型・軽量化した部位と各目的に応じた変更箇所

(1) 構造変更と小型・軽量化した部位	(2) 各目的に応じた変更箇所		
	①植付け深さ 精度の向上	②連結紙筒の搬 送精度の向上	③溝底への植 付けの対応
車輪・苗台部			
【構造変更】			
・車輪の位置変更とそりへの交換	○	—	—
・苗台土寄せ板の新設と苗台の位置変更	○	—	—
・スロープ板の新設と苗引き出し板の省略	—	○	—
・設置面との角度変更 ((2) ②に記載)	—	○	—
【小型・軽量化】			
・薄板化による重量削減	—	—	—
植付け部			
【構造変更】			
・チゼルの角度の可変化	○	—	—
・溝切り器の高さの削減	○	—	—
・苗ガイド板、培土板の形状と寸法の変更	—	○	—
・鎮圧輪の省略	○	—	—
・植付け部土寄せ板の新設	○	—	—
・取っ手の新設	—	—	—
・ウエイトの新設	—	—	—
・補助溝切り器の新設	—	—	○
・設置面との角度変更 ((2) ②に記載)	—	○	—
【小型・軽量化】			
・長さの削減	—	—	○
・重量の削減	—	—	—



A 「車輪」を取り外す



B 「そり」を装着する

図 4-13 「車輪」から「そり」への変更

苗ガイド板および培土板は鱗茎が転倒することなく植付けできるように形状と寸法を変更し、このためその後の土壌の鎮圧により鱗茎の転倒を防ぐ必要が無くなったことから「鎮圧輪」(図 4-9A)を省略した。また、培土板による覆土の不足を解消するため、圃場の土を機体の中央に寄せる「植付け部土寄せ板」(図 4-9B)を新設した。さらに、機体の小型・軽量化に伴い片手で機体の持ち運びが可能となったことから「取っ手」(図 4-9B)を新設した。大幅な軽量化により植付け時に「ハンドル」(図 4-9B)を下向きに押さえると機体の後端の培土板が浮き上がり、覆土が不十分となる場合があった。そこで、縦 135 mm×横 32 mm×高さ 15 mm、重量 500 g の「ウエイト」(図 4-9B)を苗ガイド板の両端に 2 個ずつ装着できるようにし、機体の後端部のみに加重することで確実に覆土できる構造とした。圃場の状態により覆土が不十分な場合は装着するウエイトの数を増やし、機械が重く引っ張り抵抗が大きい場合はウエイトを減らすことができる。これらの機構の新設や構造の変更により、開発機種の手輪・苗台部の寸法は既存機種の長さ 865 mm×幅 315 mm に対し、1000 mm×幅 315 mm と増加した。これは、手輪の手軸とともにハンドルの位置が「苗台」(図 4-9B)の前方に移動したためである。一方、植付け部は溝切り器の全長の短縮および鎮圧輪の省略により、既存機種の長さ 1180 mm×幅 187 mm に対し、長さ 715 mm×幅 130 mm と大幅に縮小した。これらにより、開発機種の全長は、既存機種の最大 2045 mm と比較して 330 mm 短い最大 1715 mm と小型化を実現した。次に、開発機の軽量化を目的として部分的な薄板化を図った。既存機種の各部の板厚は概ね 1.2~1.4 mm である。これに対し、開発機種では植付けに抵抗が大きくかかる溝切り器や植付け部土寄せ板などを含む植付け部は薄板化せず強度を維持し、抵抗の小さい手輪・苗台部の苗台を 1.0 mm に薄板化した。これらの構造の簡略化と部分的な薄板化により、手輪・苗台部の重量は既存機種の 4.5 kg に対し 4.1 kg へ、植付け部の重量は既存機種の 8.0 kg に対しウエイトを装着しない状態で 3.9 kg へ削減した。これにより、開発機種の総重量は、既存機種が 12.5 kg であったのに対して 8.0 kg となり、36%軽量化した。

2) 鱗茎の植付け精度向上のための各項目への対応

開発機種を利用したワケギ鱗茎の植付け作業は以下の工程①~⑤である。

工程①:新たに装着した苗台土寄せ板により土壌表面を均平化する。

工程②:溝切り器に付属のチゼルにより植付け溝を掘る。

工程③:新たに装着した植付け部土寄せ板により圃場の土を機体の中央部分に寄せる。

工程④：鱗茎を装填した連結紙筒が車輪・苗台部に設置した水稻用育苗箱から搬送され、苗ガイド板の間から土壌表面に排出される。

工程⑤：形状を改良した培土板により連結紙筒を覆土する。

鱗茎を一定の深さで均一に植付けるため、工程①および③は新たに設けた機構による作業工程、工程②および⑤は既存機種を基に改良した機構による作業工程である。同様に工程④は、連結紙筒の搬送精度を向上させるため改良した機構による作業工程である。これらの目的に応じた主な変更点および改良点を作業工程別に(1)および(2)に、溝底の植付けへの対応を(3)に記述する。

(1) 植付け深さの精度向上

工程①：苗台下部に苗台土寄せ板を新たに装着した(図 4-9B)ことにより、土壌表面の凹凸や作業者の足跡を均し、その後のチゼルによる植付け溝の溝切り以降の工程を一定の深さで行うことができる。苗台土寄せ板の形状は植付け時に作業者が機体を引っ張る時の抵抗が最小となるよう進行方向と逆方向に湾曲させ、幅は溝切りや覆土を行う部分のみを均平にできる 145 mm とした。また、土寄せ量は苗台土寄せ板の装着位置により調整できる。土寄せ量が多い場合は進行方向側へ、土寄せ量が少ない場合は進行方向と逆方向に装着位置を移動する。

工程②：植付け溝を掘る溝切り器は植付け深さに大きく影響を及ぼす。ワケギ鱗茎の植付けは高さ 30~40 mm の鱗茎を約 2/3 土中に埋め込むことから、既存機種の溝切り器の高さ 53 mm では鱗茎が土中に埋没することが想定された。このため、開発機種の溝切り器の高さは従来の 15~20 cm の長ネギの苗の移植(土屋, 1999)と比較して浅植えとなり、鱗茎の植付けに対応できる 40 mm に短縮した(図 4-9B)。

工程③：苗台土寄せ板により土壌表面の均平化が可能であるが、さらに植付け部の両端に新たに装着した植付け部土寄せ板により圃場の土を機体の中央部分に寄せて一定量の土を確保することで、土壌表面に凹部が発生した場合でも覆土の不足を補うことができる(図 4-9B)。中央への土寄せ量は植付け部土寄せ板の装着位置により調整でき、土寄せ量が少ない場合は装着位置を下げ、土寄せ量が多い場合は装着位置を上げる。さらに、前述のとおり圃場の土壌表面が膨軟で機体が沈降し進行が困難な場合や、工程①および工程③による土壌表面の均平化が不十分な場合は、標準装備の車輪をオプション部品のそりに変更できるよう改良した(図 4-13)。これにより、機体の沈降を防止するとともに、工程①の前に予め土壌を鎮圧することでその後の土壌の均平化をより確実に行うことができる。

工程⑤：既存機種の覆土の工程は、培土板により覆土した後鎮圧輪により土壌を鎮圧する(図 4-9A)。ワケギ鱗茎は苗の移植と比較して浅植えのため覆土量は少量であり、鎮圧輪による土壌を鎮圧する工程を省略しても植付け後に鱗茎が転倒しないことを予備調査で確認している。このことから、開発機種では既存機種と比較して覆土量が少量となる形状の培土板とし、鎮圧輪を省略した。

(2) 連結紙筒の搬送精度の向上

工程④の連結紙筒の搬送経路において、以下のように連結紙筒の転倒とひっかかりおよび連結紙筒からの鱗茎の脱落を防止し、連結紙筒を確実に引き出すための機構の開発および改良を行った。開発機種では苗ガイド板を長さ 337 mm×高さ 94 mm に延長し、さらに連結紙筒が機体から排出された直後に覆土できるよう苗ガイド板と培土板の先端との距離を既存機種の 260 mm から 70 mm に大幅に短縮した(図 4-14)。これらの改良により、覆土直前まで連結紙筒を直立した状態で維持でき、鱗茎の転倒を回避できると判断された。次に、既存機種の 2 枚の苗ガイド板間の最も狭い部分の幅は 26 mm である。これまで、連結紙筒に装填可能なワケギ鱗茎の直径は最大 31 mm であったことから、苗ガイド板間の幅は 31 mm 以上とする必要があるとしている(川口ら, 2014)。これに基づき、開発機種では苗ガイド板間の最大幅を 40 mm とした。ワケギの鱗茎は春季の掘り上げ直後は肥大充実し大きい、その後は呼吸による貯蔵養分の消耗で鱗茎重量が減少し小さくなる(川口・房尾, 2007)。また、品種によっても鱗茎の大きさが異なる(藤枝ら, 1980; 長谷川, 1990a, 丸山ら, 1988; 沖森・長谷川, 1983)。これらのことから、植付け時期や品種による鱗茎の大きさに応じて苗ガイド板の位置を変更し、植付け溝の幅を 25~40 mm に調整できるよう改良した(図 4-14)。これにより機体への鱗茎のひっかかりを回避できると判断した。

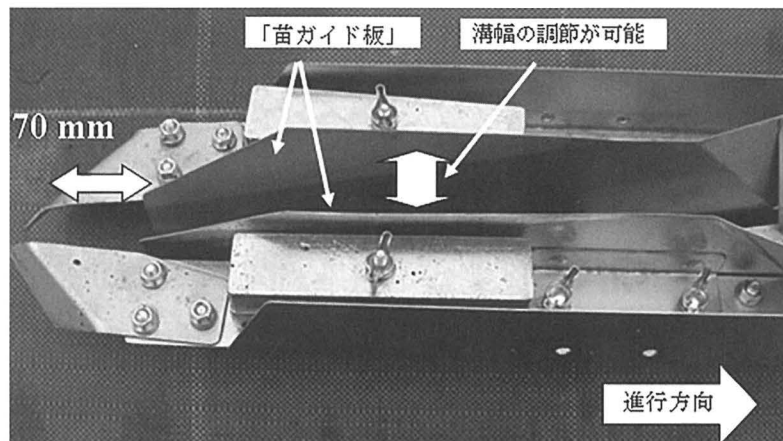
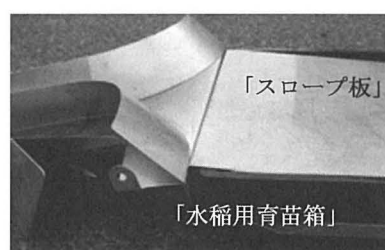


図 4-14 形状および寸法を改良した「苗ガイド板」

次に、機体上の段差を解消し鱗茎の脱落を防止するため既存機種種の苗引き出し板を省略し、新たに設けたスロープ板を利用することとした(図 4-15A)。このスロープ板は平板を植付け部側のみの字とし、どの深さの水稲用育苗箱でも利用できるよう高さ 42 mm×縦 590 mm×横 270 mmとした。スロープ板を用いた作業工程は、水稲用育苗箱に連結紙筒を展開する前に寒冷紗などの水切りの良いネット状の布を敷設しておく。その後の鱗茎装填、培土充填および浸漬工程を経た後、敷設しておいたネット状の布を持ち上げ連結紙筒の短面を少し浮かせその下に新設したスロープ板を差し込み機体に装着する(図 4-15B-①, ②, C)。これにより、連結紙筒の搬送経路における車輪・苗台部と植付け部との傾きは 10° となり機体上の段差が大幅に解消され(図 4-11B)、鱗茎の脱落が防止できると判断された。

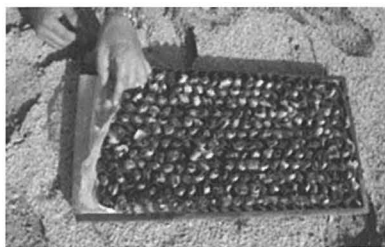
次に、既存機種での連結紙筒を収納する車輪・苗台部および土壌表面に連結紙筒を排出する植付け部それぞれの接地面とのなす角度は、共に 20° としている(図 4-9A)。これに対し、開発機種種の車輪・苗台部と接地面との角度は、重力により連結紙筒が過剰に引き出されるのを防止するため 5° に変更した(図 4-16B)。さらに、車輪・苗台部から引き出された連結紙筒は、植付け部から土壌への排出後の覆土により固定される。この固定が連結紙筒の引き出し抵抗となることが望ましいと考えられたため、車輪・苗台部の角度が 5° であるのに対して、植付け部と接地面の角度は 15° とした。これにより、連結紙筒を確実に順次引き出し展開することが可能と判断された。



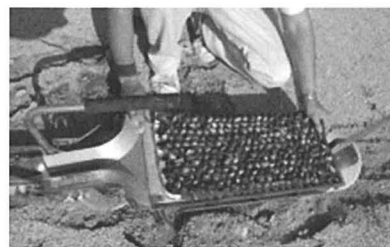
A 新設した「スロープ板」



B - ① 水稲用育苗箱とネット状の布の間に「スロープ板」を挿入する



B - ② 挿入が完了



C 水稲用育苗箱を簡易移植機に装着する

図 4-15 新たに開発した「スロープ板」の利用方法

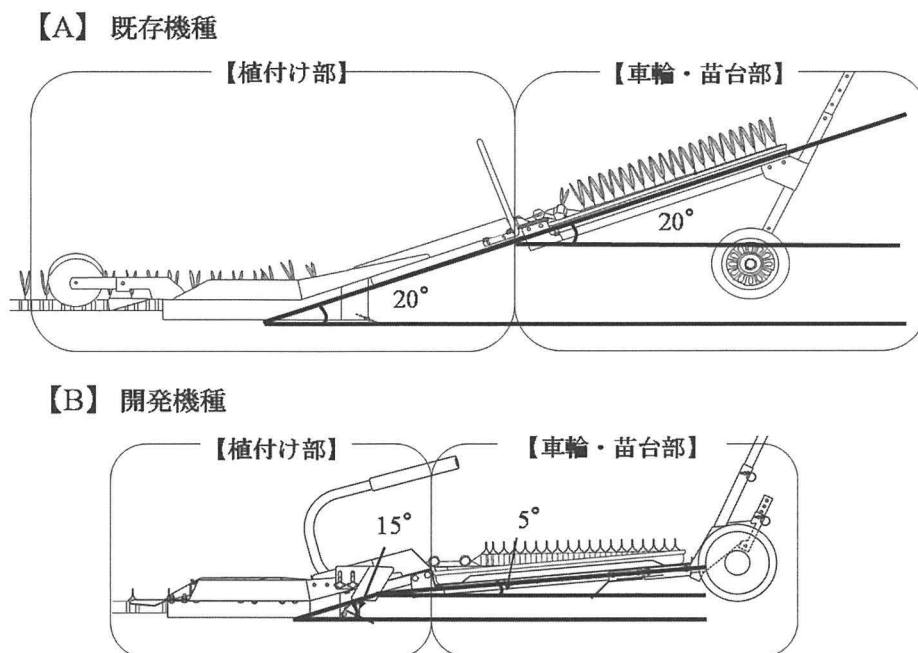


図 4-16 既存機種【A】および開発機種【B】の機体と接地面との角度

(3) 溝底への植付けの対応

開発機種の植付け部の幅は既存機種の 187 mm から 130 mm に縮幅し、二つの車輪の間隔をこれより小さい 125 mm とすることで機体が溝内に入るようにした。また、開発機種で鱗茎を溝底へ植付ける際には、各部を以下の設定に変更することとした。植付け部土寄せ板および苗台土寄せ板を取り外し(図 4-17A, B), 苗台の高さを上げ(図 4-17C), 植付け部を溝内に入れば溝内での走行が可能となる。しかし、同時に植付け溝を掘るチゼルの位置も上がり、連結紙筒を埋め込む溝を確実に掘ることができない状態となる(図 4-17D)。そこで、新たに付属部品の補助溝切り器を設け、溝切り器の底の連結紙筒が排出される部分に差し込み固定することにより、チゼルの代替として植え溝を掘ることが可能になった(図 4-18)。これらの改良と設定変更により、溝底への植付けが可能となると判断された。

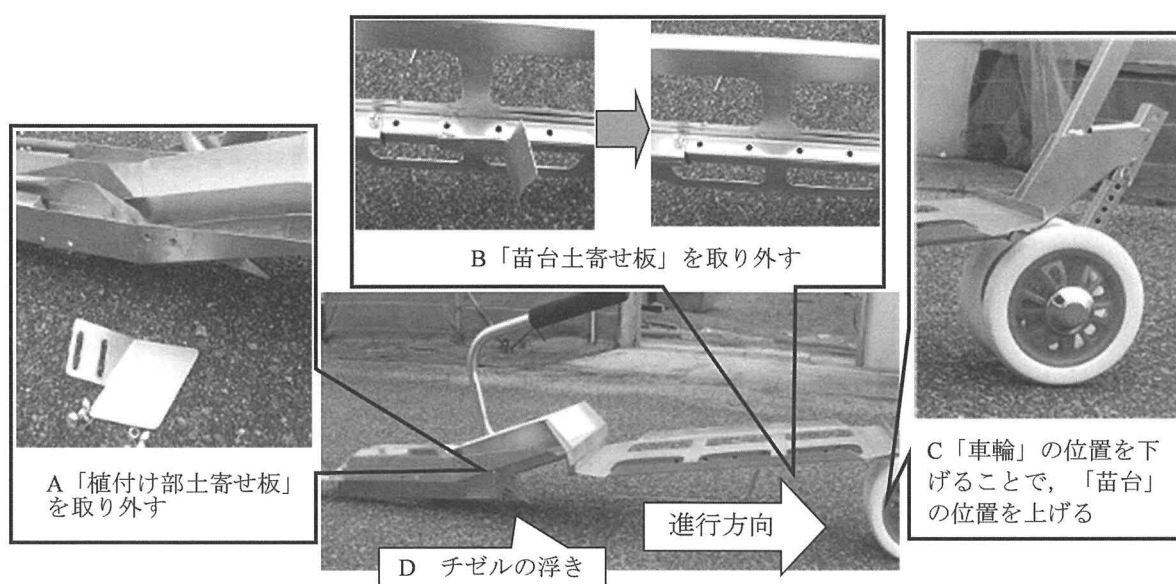
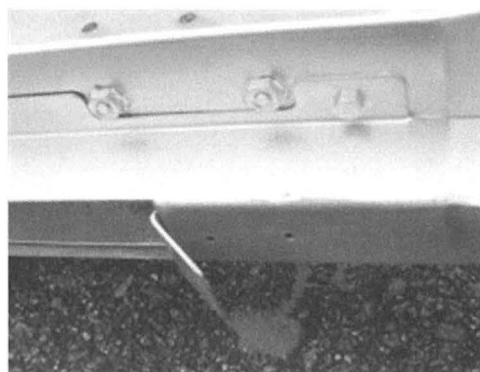


図 4-17 溝底植付けのための各部の設定変更



A 「補助溝切り器」を「溝切り器」の底に差し込みボルトで固定する



B 装着が完了

図 4-18 「補助溝切り器」の装着方法

第 2 項 開発機の植付け精度の評価

1. 緒言

既存機種を基に新たな機構を加え、小型・軽量化し、ワケギ鱗茎の植付けが可能となった簡易移植機(ひっぱりくん®HP-12H, 日本甜菜製糖(株))について、その植付け精度を評価した。

2. 材料および方法

ウイルスフリー化した‘下関’系統のワケギ‘広島 1 号’の鱗茎を重量 3～5 g 未満(以下, 小球区), 5～8 g 未満(以下, 中球区)および 8～12 g 未満(以下, 大球区)に分類した。なお、これらの鱗茎の球重と直径との関係は、一次回帰式 $y(g, \text{鱗茎の重量}) = 0.70x(\text{mm}, \text{鱗茎の直径}) - 7.84 (R^2=0.745)$ (図 4-6)で表される。2012 年 9 月 26 日に水稻用育苗箱(内寸長さ 58 cm×幅 28 cm×高さ 3 cm)に展開した連結紙筒(LP303-10, 264 穴, 口径 3 cm×高さ 3 cm)に各処理区の鱗茎を装填し、上から育苗培土(仮比重約 0.4, 含水率約 40%, $N:P_2O_5:K_2O=150:1000:150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, ジェイカムアグリ(株))を充填した。広島県立総合技術研究所農業技術センターにおいて連結紙筒を展開した水稻用育苗箱を 30 分間なりゆき温度の水に浸漬した。その後、鱗茎を装填した連結紙筒を開発機種および既存機種(対照)に設置し、ビニルハウス内の耕起済みのバーク堆肥を混和し畑地化した細粒質グライ化灰色低地土(農耕地土壌分類委員会, 1995)に植付けた。植付け時の植付深さ、機体への連結紙筒のひっかかりと転倒および連結紙筒からの鱗茎の脱落について調査した。なお、開発機種では鱗茎重量に応じて苗ガイド板間を調整し、大球区, 中球区および小球区の溝幅をそれぞれ 40.0 mm, 32.5 mm および 25.0 mm に設定した。植付け時の鱗茎が機体上および土壌表面で連結紙筒から外れた場合に「脱落」とした。植付け深さは土壌表面と連結紙筒上辺の距離とし、上辺が土壌表面より上の場合は「+」、下の場合は「-」表示とした。機体での連結紙筒のひっかかりは連結紙筒が植付け溝となる苗ガイド板間に引っかかった状態、転倒は連結紙筒が苗ガイド板間で転倒した状態とした。各調査における 1 区当たりの標本数は 48 球(4.8 m), それぞれ 3 反復とした。

3. 結果および考察

簡易移植機の機種および鱗茎重量についての植付け精度を表 4-5 に、植付け深さの変動係数が最大であった反復についての植付け深さの推移を図 4-19 に示した。植付け深さは既存機種と比較して開発機種で有意に浅く、鱗茎重量による差も小さかった。このことは、本開発機種は鱗茎の大きさに関わらず均一な深さでの植付けが可能であることを示している。慣行の手作業による植付けでは、高さ 30～40 mm の鱗茎の約 2/3 を土中に埋め込む。また、連結紙筒の高さは 30 mm であり植付け時には圃場の土が紙筒内に少量入り込み栽培土壌となじむのが発根に良いと考えられることから、開発機種での植付け深さ 4.0～6.3 mm は概ね適切な値であると判断した。植付け深さの推移は、いずれの鱗茎重量でも既存機種と比較して開発機種で深浅の差が小さい傾向にあった。また、植付け深さの変動係数に有意な差はみられなかったが、植付け深さの変動幅は既存機種では大球区、中球区および小球区それぞれ 17.3 mm, 31.7 mm および 36.6 mm であったのに対し、開発機種では 6.0 mm, 5.7 mm および 8.0 mm で有意に小さかった。既存機種の植付け深さの変動幅は鱗茎の高さと同等であり、植付け深さが深い場合の鱗茎の埋没による萌芽の遅延や、浅い場合の発根部分である盤茎の露出による発根の遅延が生じ易いと考えられる。これに対し、開発機種では植付け深さが±4 mm の精度で植付けが可能であることを示しており、鱗茎の埋没や盤茎の露出が発生しにくいと考えられる。

植付け時の苗ガイド板間の連結紙筒のひっかかりは、既存機種では大球区および中球区で発生したが開発機種ではみられなかった。また、植付け溝での連結紙筒の転倒は、既存機種では中球区および小球区で発生したが開発機種ではみられなかった。開発機種では苗ガイド板の寸法を改善し鱗茎の大きさに対応して苗ガイド板間の幅を調整しており、この操作が苗ガイド板間での連結紙筒のひっかかりや転倒の防止に有効であることが示された。なお、植付け時の連結紙筒からの鱗茎の脱落は本実験では両機種ともに鱗茎の大きさに関わらず発生せず、個々の紙筒が 1 つずつ引き出された。

以上のことから、開発機種による鱗茎の植付け深さの変動は極めて小さく、植付け時の機体への連結紙筒のひっかかりや転倒が皆無であったことから実用性が示されたと判断した。

表 4-5 簡易移植機の機種および鱗茎重量がワケギ鱗茎の植付け精度に及ぼす影響

簡易移植機	鱗茎 ² 重量	植付け深さ ³ (mm)	植付け深さ の変動幅 ⁴ (mm)	植付け深さ の変動係数 ⁵	連結紙筒の ひっかかり ⁶ (回/4.8m)	連結紙筒の転倒 ⁷ (回/4.8m)	脱落率 ⁸ (%)
開発機種	大球	6.3	6.0	0.22	0	0	0
	中球	4.0	5.7	0.49	0	0	0
	小球	4.0	8.0	0.56	0	0	0
既存機種 (対照)	大球	9.1	17.3	0.46	2.0	0	0
	中球	9.6	31.7	0.80	0.7	2.0	0
	小球	18.1	36.6	0.57	0	4.7	0
【各要因別の平均値】							
開発機種		4.8 b ⁹	6.6 b	0.42	0	0 b	0
既存機種		12.3a	28.6a	0.61	0.9	2.2a	0
	大球	7.7	11.7 b	0.34	1.0	0 b	0
	中球	6.8	18.7ab	0.65	0.3	1.0ab	0
	小球	11.1	22.3a	0.57	0	2.3a	0
(統計処理)							
簡易移植機		** ⁹	**	NS	NS	**	—
鱗茎重量		NS	*	NS	NS	**	—

² 小球：3 g以上5 g未満，中球：5 g以上8 g未満，大球：8 g以上12 g未満

³ 植付け後の連結紙筒の上辺と覆土の表面間の距離

⁴ 植付け深さの最大値と最小値の差

⁵ 植付け深さの標準偏差/平均値

⁶ 植付け時に連結紙筒が「苗ガイド板」間にひっかった回数

⁷ 植付け時に連結紙筒が「苗ガイド板」間で転倒した回数

⁸ 植付け時に連結紙筒から機体上および土壌表面に脱落した球根の割合，統計処理の「—」は計算不能を示す

⁹ 同一の英文字を付した数値間には，Tukeyの多重検定により有意差（ $P<0.05$ ）がないことを示す

[†] 簡易移植機の機種は検定，鱗茎重量は分散分析を行った

⁹ *は5%，**は1%水準で有意，NSは有意差が無いことを示す

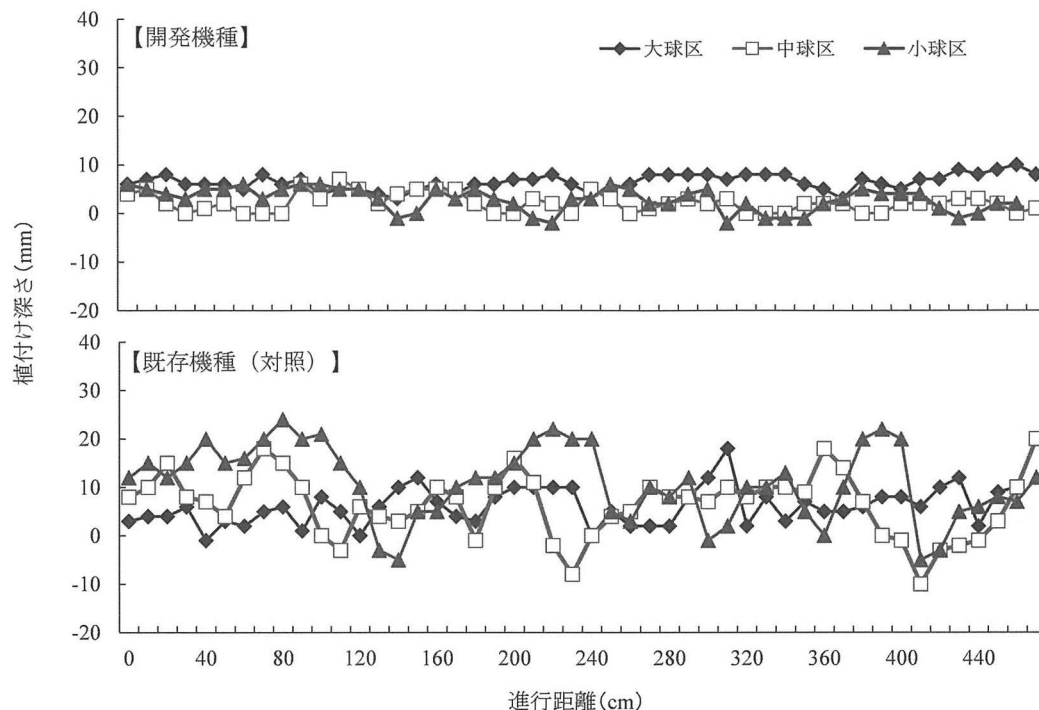


図 4-19 簡易移植機の機種および鱗茎重量がワケギ鱗茎の植付け深さに及ぼす影響

第 3 節 鱗茎の植付けに対応した簡易移植機による作業性の改善と実用性

第 1 項 球根対応簡易移植機による鱗茎の植付けが作業時間、作業姿勢および自覚的運動強度に及ぼす影響

1. 緒言

開発した球根対応簡易移植機によるワケギ鱗茎の植付け作業の省力および軽労化効果を明らかにするため、本機の利用が植付けの作業時間、作業姿勢および自覚的運動強度に及ぼす影響を調査した。

2. 材料および方法

作業性調査には、球根対応簡易移植機（開発機種）を用いて鱗茎を植付ける機械植付け区および対照として慣行の手植え区を設けた。図 4-4 に基づき、機械植付け区の作業工程を①：連結紙筒の展開，②：連結紙筒への鱗茎の装填，③：培土の充填，④：連結紙筒の浸漬および⑤：植付けに分類した。なお、工程⑤の植付け作業には水稻用育苗箱を本機に設置し、連結紙筒の端を引き出し棒状の資材で土壌表面に固定する準備作業および複数の連結紙筒を植付ける際の交換作業も含めた。2013 年 12 月 5 日に広島県立総合技術研究所農業技術センター内のビニルハウス（間口 7.2 m，奥行き 15 m）において、機械植付け区の作業工程①～④の作業，露地圃場で作業工程⑤の植付けを行い各作業の作業性を評価した。なお作業工程④は、連結紙筒を所定の時間浸漬するだけであることから、作業時間および姿勢の評価は行わなかった。対照区の作業性評価は、1 回の調査で身体への作業負担が大きいことが想定されたため、1 日 1 回限りの作業とした。被験者は身長 170 cm の 30 歳代，身長 173 cm の 40 歳代および身長 168 cm の 60 歳代の男性とし、各被験者が 11 月 21，22 および 26 日にそれぞれ 1 回ずつ作業を行うことによって評価した。機械植付け区の作業工程①～③および⑤は、連結紙筒（チェーンポット®，LP303-10，264 穴，株間 10 cm，日本甜菜製糖（株））にウイルスフリー化した‘下関’系統のワケギ‘広島 1 号’の鱗茎を装填し、育苗培土（N:P₂O₅:K₂O=150:1000:150 mg・L⁻¹，ジェイカムアグリ（株））を充填した。機械植付け区の作業工程①～③は、連結紙筒 1 冊（264 球）分の作業を調査し、52.8 m あた

りの作業時間を算出した。作業工程⑤は連結紙筒 2 冊分 (528 球, 52.8 m) を連続して行って算出した。対照区では機械植付け区と同じ 528 球 (52.8 m) を株間 10 cm として手作業で植付けた。各作業に要する時間をストップウォッチで計測するとともに、デジタルカメラにより各工程の作業姿勢を動画で記録し、Karhu ら (1977) が開発した Ovaco 式作業姿勢分析システムソフト (以下、OWAS 法) を用いてアクションカテゴリー (以下、AC) に分類し評価した。各作業について 1 秒毎に作業姿勢を抽出し、背部、上肢、下肢および支持する質量の 4 項目の OWAS 姿勢コード表に基づき、各作業を AC1:改善不要 (この姿勢による筋骨格系負担は問題なし)、AC2:近いうちに改善すべき (この姿勢は筋骨格系負担に有害である)、AC3:できるだけ早期に改善すべき (この姿勢は筋骨格系負担に有害である) および AC4:直ちに改善すべき (この姿勢は筋骨格系に非常に有害である) の 4 段階に分類した。自覚的運動強度については、各作業の開始後 5 分毎および作業終了時に修正 Borg Scale (Borg, 1982) に基づき、首、肩、背中、腰、上腕、肘、前腕、手首、腿、膝、脛脛、足首および手指の疲労度を聞き取り、主観評価を行った。なお、機械植付け区では連結紙筒 1 冊ごとの一連の作業を計測したことから、鱗基数で単純に除して考察することは適切でないと判断し、調査した連結紙筒 2 冊分となる 528 球 (52.8 m) の結果を評価した。対照区もこれに合わせ同じ鱗基数で評価した。

3.結果および考察

被験者別の植付け作業時間を図 4-20 に示した。対照区において鱗茎 528 球 (52.8 m) の植付けに要した作業時間は、60 歳代男性で 1034 秒と最も短く、次いで、30 歳代男性で 1360 秒、40 歳代男性で 1435 秒であった。これらの作業時間には後述する連続的な辛い中腰での作業中に立ち姿となった時間が 30 歳代、40 歳代および 60 歳代男性で、それぞれ 113、72 および 8 秒含まれる。30 歳代男性の作業時間が 60 歳代と比較して多かったことは、立ち姿の時間が多かったことに起因した。また、40 歳代男性は 3 人の被験者の中で最もワケギ栽培の経験年数が長いにも関わらず、中腰姿勢の時間を除いても 60 歳代男性と比較して大幅に作業時間が長かったことから考察すると、手作業での鱗茎の植付け作業時間は、作業速度や身体負荷への影響の個人差によっても大きく影響されることが示唆された。一方、機械植付け区において鱗茎 528 球 (連結紙筒 2 冊, 52.8 m) の植付けに要した時間 (作業工程①～③および⑤の合計時間) は、30 歳代および 40 歳代男性ではそれぞれ 1280 および 1201 秒で、対照区と比較して短かったが、60 歳代男性では 1205 秒で対照区と比較して長かった。また、作業工程別の作業時間は、作業工程①では 30 歳代、40 歳代および 60 歳代男性がそれぞれ 71、85 および 88 秒、作業工程②では 928、846 および 856 秒、作業工程③では 113、77 および 73 秒であった。作業工程⑤の植付け作業時間は、それぞれ 168、193 および 189 秒であった。このことは、1 a 当たりに

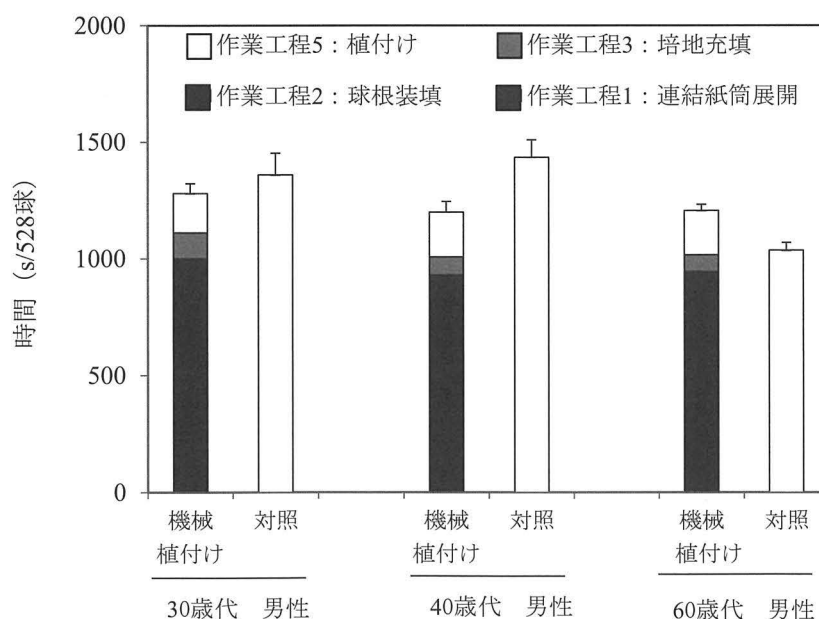


図 4-20 ワケギ鱗茎の植付け方法による作業時間の差異

図中の垂線は標準誤差 (n=3) を示す

換算すると、対照区および機械植付け区について 30 歳代男性ではそれぞれ 215 および 202 分、40 歳代男性では 226 および 190 分、60 歳代男性では 163 および 190 分に相当する。30 歳代および 40 歳代男性では、機械植付けにより 6 および 16%の作業時間の短縮効果がみられた。また、機械植付け区の作業時間の合計は、被験者による大きな差がみられなかったことから、機械植付けでは作業者の年齢、身体的能力および熟練度に関わらず一定の時間で作業ができると考えられた。さらに、機械植付けでは、作業工程②の鱗茎装填作業が全体の 59～83%を占めたことから、今後の作業の効率化が課題として挙げられる。

OWAS 法によるアクションカテゴリーの評価を図 4-21 に示した。対照区では AC3 が 30 歳代、40 歳代および 60 歳代男性で鱗茎 528 球あたりそれぞれ 1210、1329 および 1003 秒と、いずれの被験者においても作業時間の 90%以上を占めた。AC4 は 40 歳代男性ではみられず、30 歳代男性が 6 秒で 1%未満、60 歳代男性が 22 秒で 2%であった。その他 AC1 は、30 歳代が 107 秒で 8%、40 歳代が 71 秒で 5%および 60 歳代男性が 8 秒で 1%であった。AC2 はいずれの被験者も 7 秒以下で 1%未満であった。一方、機械植付け区の作業工程①～③はいずれの被験者においても AC1 が 100%を占め、作業時間は 30 歳代、40 歳代および 60 歳代男性でそれぞれ作業工程①では 36、42 および 45 秒、作業工程②では 465、451 および 428 秒、作業工程③では 57、39 および 38 秒であった。作業工程⑤の植付け作業は、30 歳代、40 歳代および 60 歳代男性で AC1 がそれぞれ 92 秒で 55%、121 秒で 63%および 111 秒で 63%を占め、次いで AC2 がそれぞれ 63 秒で 38%、55 秒で 29%および 59 秒で 33%、AC3 がそれぞれ 11 秒で 7%、17 秒で 8%および 8 秒で 4%、AC4 はみられなかった。対照区では、体幹を前屈し、下肢の両膝を曲げて中腰で行う「直ちに改善すべき姿勢」に相当する AC3 が多くを占めた。また、いずれの被験者でもみられた AC1 および AC2 は、AC3 および AC4 の植付け作業中に連続的な辛い中腰作業に耐え切れず被験者が自主的に伸びを兼ねて立ち姿となった時のものであった。前述の 60 歳代男性において機械植付けによる作業時間の短縮効果がみられなかったことについても、自主的に伸びを兼ねた AC1 および AC2 が少なかったためと考えられる。さらに、後述の表 4-6 に示す自覚的運動強度の推移において作業開始 15 分後には最大値に達していることから、植付ける鱗茎数が増加して植付け作業が継続すると対照区では AC3 の負荷が強まり、これによって AC1 および AC2 の作業時間が増加することが予想され、いずれの年代の被験者でも機械植付けによる作業時間の短縮効果が現れると考えられた。これに対し、機械植付け区ではいずれの作業工程においても AC3 の出現割合は顕著に少なく、

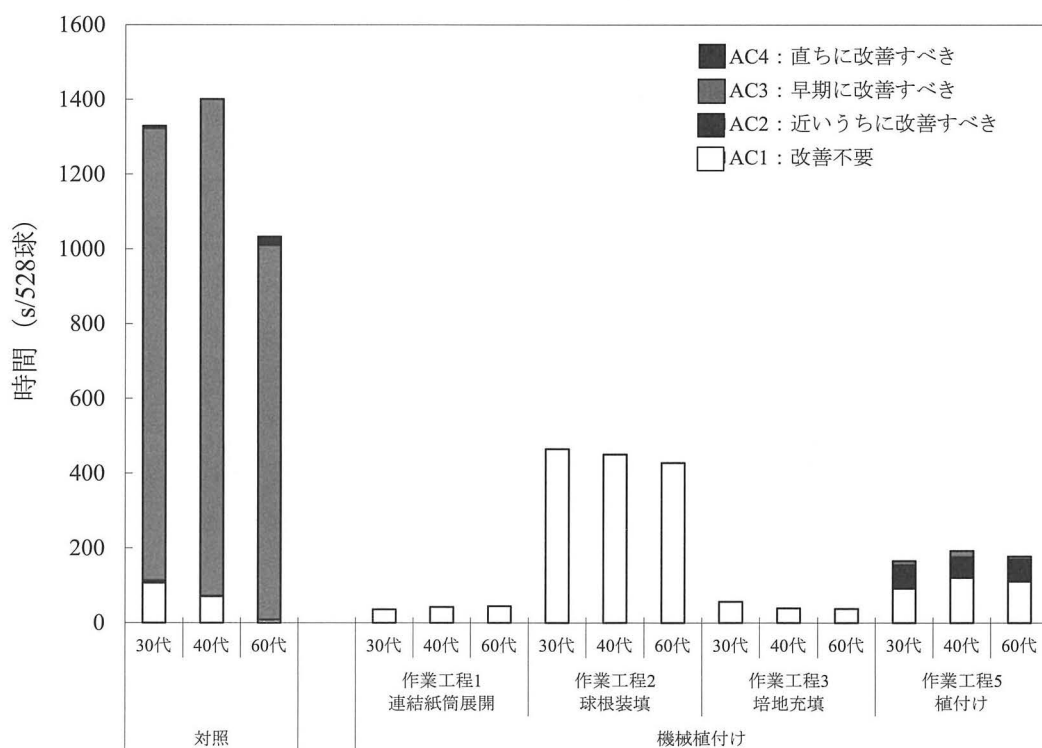


図 4-21 ワケギ鱗茎の植付け方法による作業姿勢の差異

AC1 および AC2 がほとんどを占めたことから、機械植付けによる作業性の改善効果が示唆された。なお、機械植付け区の作業工程⑤の植付け作業中に4～8%出現したAC3は、植付け機に連結紙筒を展開した水稻用育苗箱を設置し連結紙筒の端を棒状の資材で土壌表面に固定する作業、あるいは1冊目の連結紙筒の植付けが終了し新たな連結紙筒に交換する作業の際に、体幹を前屈とし下肢は両膝を曲げて中腰で行うことにより出現したものである。この作業は体幹をまっすぐにする、あるいは下肢を膝立ちとすることでAC2、これら両方の姿勢で作業することでAC1とし、筋骨格系に負担がかからないように努める必要があると考えられた。対照区および機械植付け区の工程⑤の作業中における修正 Borg Scaleを用いた自覚的運動強度の推移を表4-6に示した。対照区では、全ての被験者において腰、腿および膝への負担の訴えが大きく、作業開始から15あるいは20分後には最大値に達し、その後は最大値が継続した。対照区の作業終了時の自覚的運動強度は、各被験者の最大値で腰が5.7～7.7、左右の腿が3.3～8.0、左右の膝が1.3～5.7と大きかった。その他の負担の訴えがあった箇所は、30歳代男性では左右の足首でそれぞれ3.0および2.3、40歳代男性では左脛脛で6.3および60歳代男性は左右の脛脛共に0.3であった。30歳代男性の膝および足首、40歳代男性の膝および脛脛では右側に比べて左側の負担の訴えが大きかった。このことは、本実験ではいずれの被験者も右利きで常に左足を前にした中腰姿勢で作業を行っていたことから、進行方向に前のめりとなった際に左足へ重心が集中し、さらに右足と比較して左足の膝をより曲げた状態の中腰姿勢を維持していたためと考えられた。一方、機械植付け区の自覚的運動強度は、作業工程①および③では全ての被験者において各部位とも0であり、作業工程②では30歳代男性の腰に0.3の訴えがあった(データ省略)。また、作業工程⑤の作業終了時の身体への負担の訴えは、30歳代男性の右および左腿で0.7、60歳代男性の左膝

表 4-6 ワケギ鱗茎の植付け方法が作業時の自覚的運動強度の推移に及ぼす影響

被験者	部位	対照区						機械植付け区	
		0(分)	5	10	15	20	終了時 ^z	0	終了時 ^y
30歳代男性	腰	0	3.3 ^{±0.3} ^w	5.3 ^{±0.9}	6.3 ^{±0.9}	6.7 ^{±0.3}	6.0 ^{±0.6}	0	0
	右腿	0	0.7 ^{±0.7}	1.0 ^{±1.0}	1.0 ^{±1.0}	0	0	0	0.7 ^{±0.3}
	左腿	0	4.0 ^{±0.6}	5.7 ^{±0.3}	7.0 ^{±0.0}	7.3 ^{±0.3}	8.0 ^{±0.6}	0	0.7 ^{±0.3}
	右膝	0	0	0	0	0	0	0	0
	左膝	0	0	0	1.0 ^{±1.0}	1.3 ^{±1.3}	1.3 ^{±1.3}	0	0
	右脛脛	0	0	0	0	0	0	0	0
	左脛脛	0	0	0	0	0	0	0	0
	右足首	0	0	1.3 ^{±0.7}	1.7 ^{±0.9}	2.3 ^{±1.2}	2.3 ^{±1.2}	0	0
	左足首	0	0	0.7 ^{±0.7}	1.3 ^{±0.7}	3.0 ^{±0.6}	3.0 ^{±0.6}	0	0
40歳代男性	腰	0	2.7 ^{±0.3}	5.7 ^{±0.7}	7.3 ^{±0.3}	7.7 ^{±0.3}	7.7 ^{±0.3}	0	0
	右腿	0	1.7 ^{±0.9}	2.7 ^{±1.5}	3.3 ^{±1.7}	6.0 ^{±0.6}	6.3 ^{±0.7}	0	0
	左腿	0	0	3.3 ^{±0.3}	5.0 ^{±0.6}	6.0 ^{±0.6}	6.3 ^{±0.7}	0	0
	右膝	0	0	0	0	1.3 ^{±1.3}	1.3 ^{±1.3}	0	0
	左膝	0	0.7 ^{±0.7}	2.3 ^{±1.2}	3.3 ^{±1.8}	5.7 ^{±1.3}	5.7 ^{±1.3}	0	0
	右脛脛	0	0	0	0	0	0	0	0
	左脛脛	0	1.3 ^{±0.7}	3.7 ^{±0.3}	5.3 ^{±0.3}	6.3 ^{±0.7}	6.3 ^{±0.7}	0	0
	右足首	0	0	0	0	0	0	0	0
	左足首	0	0	0	0	0	0	0	0
60歳代男性	腰	0	1.8 ^{±0.7}	3.7 ^{±0.7}	5.0 ^{±0.6}	—	5.7 ^{±1.2}	0	0
	右腿	0	1.3 ^{±0.9}	2.0 ^{±1.5}	3.3 ^{±2.0}	—	3.3 ^{±2.0}	0	0
	左腿	0	1.3 ^{±0.9}	2.0 ^{±1.5}	3.3 ^{±2.0}	—	3.3 ^{±2.0}	0	0
	右膝	0	0	0	0	—	1.3 ^{±0.7}	0	0
	左膝	0	0	0	0	—	1.3 ^{±0.7}	0	0.3 ^{±0.3}
	右脛脛	0	0.2 ^{±0.2}	0.2 ^{±0.2}	0.3 ^{±0.3}	—	0.3 ^{±0.3}	0	1.0 ^{±0.0}
	左脛脛	0	0.2 ^{±0.2}	0.2 ^{±0.2}	0.3 ^{±0.3}	—	0.3 ^{±0.3}	0	1.0 ^{±0.0}
	右足首	0	0	0	0	—	0	0	0
	左足首	0	0	0	0	—	0	0	0

^z 30歳代男性は作業開始約23分後、40歳代男性は約23分後、60歳代男性は約17分後を示す

^y いずれの被験者も作業開始約3分後を示す

^x 修正Borg Scaleに基づく自覚的運動強度を示す

0: 感じない, 0.5: 非常に弱い, 1: やや弱い, 2: 弱い, 4: 多少強い, 5: 強い, 7: とても強い, 10: 非常に強い

^w 標準誤差 (n=3) を示す

で 0.3, 右および左脛脛で 1.0 であった。これらの身体への負担は、球根対応簡易移植機を後ろ向きに引っ張る際に土壌が耕起直後の膨軟な状態であったことから、被験者の足が埋没し進行が妨げられたためと考えられたが、対照区と比較して訴えのあった自覚的運動強度が顕著に小さかったことから、球根対応簡易移植機が自覚的運動強度の削減に有効であると考えられた。本機は機体質量が 13 kg の既存機種(ひっぱりくん® HP-6, 日本甜菜製糖(株))を小型・軽量化し 8.0 kg に削減している(川口ら, 2015b)が、若干の身体への負担の訴えがあった。植付けの際には、機体に水稻育苗箱を設置するため機体の総質量が 8kg を超える。植付け作業における球根対応簡易移植機の引張力は土壌表面を滑走させるため抵抗値が減少するものの、引き作業において頸部・肩・腕・肘・手指に負担が大きいとされる 8 kg(宇土, 2005)を超え、これが開発機の利用時の若干の身体負荷として発現したものと考えられた。この対策として本機を利用した植付け作業では土壌を均平化し植付け深さの精度を向上するため新設した「苗台土寄せ板」、「植付け部土寄せ板」を適切な位置に設定し、機体の浮き上がりを防止するための「ウエイト」の搭載数を適切な数とすることで本機の引っ張り抵抗を最小とする必要があると考えられた。

以上のことから、開発した鱗茎の植付け方法および球根対応簡易移植機により、作業姿勢および自覚的運動強度が大幅に改善され明確な軽労化効果が認められた。また、連結紙筒への鱗茎の装填作業が作業時間全体の 59~83%を占めることが挙げられ、今後作業の効率化を図ることが必要であると考えられた。

第 2 項 球根対応簡易移植機による鱗茎の植付けが生育および収量に及ぼす影響

1. 緒言

1 a 当たり 5000 株(株間 10 cm×条間 20 cm)と栽植密度が高く、球根対応簡易移植機の利用効果が高いと考えられる夏どり栽培および秋どり栽培において、本機を用いてワケギ鱗茎を植付け、その後の生育を調査することにより本機の実用性を評価した。

2. 材料および方法

ウイルスフリー化した‘下関’系統のワケギ‘広島 1 号’の鱗茎を重量 3 g 以上 5 g 未満(以下、小球区)、5 g 以上 8 g 未満(以下、中球区)および 8 g 以上 12 g 未満(以下、大球区)に分類した。植付け方法として、球根対応簡易移植機を用いて鱗茎を植付ける機械植付け区および対照として慣行の手植え区を設けた。機械植付け区は水稻用育苗箱へ展開した連結紙筒(LP303-10)に、夏どり栽培では 2014 年 7 月 20 日、秋どり栽培では 8 月 24 日に鱗茎を装填し、その上から市販の育苗培土(N:P₂O₅:K₂O=150:1000:150 mg・L⁻¹, ジェイカムアグリ(株))を充填した。連結紙筒 1 冊に充填するおおよその培土量は小球区、中球区および大球区でそれぞれ 2.0, 1.8 および 1.6 L であり、1 穴あたりの N, P₂O₅ および K₂O の施用量は小球区で 1.1, 7.6 および 1.1 mg, 中球区で 1.0, 6.8 および 1.0 mg, 大球区で 0.9, 6.1 および 0.9 mg であった。また、対照区では慣行と同様に鱗茎の高さ 2/3 を土中に埋め込んだ。広島県立総合技術研究所農業技術センターのビニルハウス(間口 6 m, 奥行き 15 m)内において各処理の連結紙筒を 30 分間浸漬した後、球根対応簡易移植機(ひっぱりくん® HP-12H, 日本甜菜製糖(株), 以下、機械植付け区)により植付けた。夏どり栽培では土壌の pH が 7.0, EC が 0.19 dS・m⁻¹, 秋どり栽培では土壌の pH が 7.1, EC が 0.55 dS・m⁻¹であったため、1 a 当たり有機入り配合肥料(N:P₂O₅:K₂O=10%:8%:9%, 広島県製肥(株))をそれぞれ 15 および 7.5 kg 施用し、バーク堆肥(有機物 70%, N:P₂O₅:K₂O=1.5%:1.1%:0.4%, 久米産業(株))と混和した。栽培中の灌水開始点は畝面から深さ 10 cm の土壌水分張力が pF2.1 に達した時点とし、圃場に敷設した点滴チューブにより 1 回当たり降雨 5 mm に相当する量を圃場全体に灌水した。栽植密度は株間を 10 cm, 条間を 20 cm として、1 a 当たり 5000 株とした。萌芽を目視できた日を萌芽日とし、植付け 5 日後の夏どり栽培では 7 月 25 日、秋どり栽培では 8 月 29 日に発根程度を調査した。また、栽培期間中の立毛での草丈を夏どり栽培では 8 月 7 および 16 日、秋どり栽培では 9 月 4 および 17 日に調査した。

収穫時の生育調査は、夏どり栽培では 8 月 26 日、秋どり栽培では 9 月 22 日に行った。調製重は、株を掘り上げ分割し枯死した葉身を除去した後、根を約 1 cm 残して切除した株を計測した。鱗茎の肥大程度は加藤(1963)の方法に従い、葉鞘基部の最大

横径を最小横径となる交合部径で除した値で表した。試験区は、夏どり栽培と秋どり栽培において6処理(植付け方法2水準・鱗茎重量3水準)を3反復の乱塊法で配置した。各処理区は連結紙筒40穴(40株、4m)とし、そのうち発根状況の調査は連続した10株分、萌芽、立毛での草丈および収穫時の生育調査は連続した20株分について行った。

3. 結果および考察

鱗茎植付け後の萌芽日数および発根状況を表4-7に示した。萌芽日数はいずれの作型においても中球区および小球区と比較して大球区で有意に大きかったが、植付け方法による差はみられなかった。植付け5日後の発根状況については、夏どり栽培での根数、最大根長および根重には植付け方法および鱗茎重量による差はみられなかった。秋どり栽培での根数および最大根長は、大球区および中球区と比較して小球区で有意に小さかったが、植付け方法による差はみられなかった。また、連結紙筒に鱗茎装填後、充填した培土に含まれる肥料成分は極微量で、処理区の施肥量の差による生育への影響はなかったと考えられる。これらのことから、植付け方法による植付け後の萌芽日数および発根への影響は小さいと考えられた。

表4-7 ワケギ鱗茎の植付け方法および鱗茎重量が萌芽および発根に及ぼす影響

作型	植付け方法	鱗茎 ^z 重量	萌芽日数 (日)	根数 (本)	最大根長 (mm)	根重 (g)
夏どり栽培	手植え（対照）	小球	8.9	3.3	26.6	0.03
		中球	9.4	5.0	37.7	0.05
		大球	9.8	5.9	41.6	0.06
	機械植付け	小球	8.3	4.4	31.1	0.04
		中球	9.1	6.2	34.7	0.06
		大球	10.9	6.7	40.7	0.07
	【各要因別の平均値】					
	手植え		9.4	4.7	35.3	0.05
	機械植付け		9.4	5.8	35.5	0.06
		小球	8.6a ^y	3.9	28.9	0.04
		中球	9.3a	5.6	36.2	0.06
		大球	10.4b	6.3	41.2	0.07
	(統計処理 ^x)					
	植付け方法		NS ^w	NS	NS	NS
	鱗茎重量		**	NS	NS	NS
秋どり栽培	手植え（対照）	小球	5.3	13.0	66.5	0.22
		中球	5.0	17.8	84.4	0.31
		大球	5.1	16.6	75.5	0.32
	機械植付け	小球	4.5	12.9	70.4	0.29
		中球	4.8	15.7	77.7	0.28
		大球	6.7	19.5	75.3	0.33
	【各要因別の平均値】					
	手植え		5.1	15.8	75.5	0.28
	機械植付け		5.3	16.0	74.5	0.30
		小球	4.9a	13.0a	68.5a	0.26
		中球	4.9a	16.8b	81.1b	0.30
		大球	5.9b	18.1b	75.4ab	0.33
	(統計処理)					
	植付け方法		NS	NS	NS	NS
	鱗茎重量		**	*	*	NS

^z 小球：3 g以上5 g未満，中球：5 g以上8 g未満，大球：8 g以上12 g未満

^y 異なる英文字を付した数値間には、同一作型内でTukeyの多重検定により有意差(P<0.05)があることを示す

^x 植付け方法はt検定，鱗茎重量は分散分析を行った

^w *は5%，**は1%水準で有意，NSは有意差が無いことを示す

栽培期間中の草丈の推移を表 4-8 に示した。夏どり栽培における 8 月 7 日の草丈は中球区および小球区と比較して大球区で有意に小さかったが、植付け方法による差は認められなかった。8 月 16 日の草丈では、植付け方法および鱗茎重量による差はみられなかった。秋どり栽培における 9 月 4 日および 9 月 17 日の草丈には植付け方法および鱗茎重量による差はみられなかった。

表 4-8 ワケギ鱗茎の植付け方法および鱗茎重量が草丈に及ぼす影響

植付け方法	鱗茎 ^z 重量	草丈 (cm)			
		夏どり栽培		秋どり栽培	
		8月7日	8月16日	9月4日	9月17日
手植え (対照)	小球	24.1	34.3	17.3	36.9
	中球	25.3	35.6	17.6	38.8
	大球	22.7	33.6	18.1	40.0
機械植付け	小球	27.6	36.8	18.6	40.1
	中球	26.9	36.2	19.3	40.7
	大球	20.3	32.4	13.8	38.9
【各要因別の平均値】					
手植え		24.0	34.5	17.7	38.6
機械植付け		24.9	35.1	17.2	39.9
	小球	25.9b ^y	35.6	18.0	38.5
	中球	26.1b	35.9	18.5	39.8
	大球	21.5a	33.0	16.0	39.5
(統計処理 ^v)					
植付け方法		NS ^w	NS	NS	NS
鱗茎重量		*	NS	NS	NS

^z 小球：3 g以上5 g未満，中球：5 g以上8 g未満，大球：8 g以上12 g未満

^y 異なる英文字を付した数値間には、Tukeyの多重検定により有意差 (P<0.05) があることを示す

^x 植付け方法は検定，鱗茎重量は分散分析を行った

^w *は5%，**は1%水準で有意，NSは有意差が無いことを示す

収穫時の生育状況を表 4-9 に示した。夏どり栽培における収穫時の生育は、植付け方法による有意な差はみられなかった。収穫時の調製重は、小球区と比較して大球区および中球区で有意に大きかった。分けつ数は、鱗茎重量が大きいほど有意に大きかった。草丈、交合部径、葉鞘基部径および鱗茎の肥大指数は、鱗茎重量による有意な差はみられなかった。秋どり栽培における収穫時の生育は、葉鞘基部径および鱗茎の肥大指数を除いて、植付け方法による有意な差はみられなかった。収穫時の調製重は、大球区が小球区と比較して有意に大きかった。分けつ数は、鱗茎重量が大きいほど有意に大きかった。葉鞘基部径および鱗茎の肥大指数は、対照区と比較して機械植付け区で小さかった。草丈および交合部径は、鱗茎重量による差はみられなかった。これらのことから、栽培期間中および収穫時の生育は、植付け後の発根と同様に植付け方法による影響が小さいことが示唆された。なお、鱗茎重量による萌芽日数および発根の差については、タマネギでは大小により休眠期間や萌芽日の差異はみられない報告(加藤, 1965)から考察すると、重量の大きい鱗茎は小さい鱗茎と比較して鱗茎の高さが高く発根部分の盤茎が大きいことから、鱗茎内部の芽が底部から伸長し、目視で萌芽が確認できるまで時間を要し、その後の発根が旺盛であったと考えられた。また、生育初期の草丈の差は、鱗茎重量が大きいほど萌芽日が遅かったことに起因すると考えられる。収穫時の生育の差については、ワケギおよびワケギと同属のニンニクやラッキョウで、鱗茎重量が大きいほど葉数、草丈、葉幅および分球数などが大きいことが報告されており(川口ら, 2014; 平尾・横井, 1963; 佐藤・田辺, 1970)、本実験においても同様の傾向が示されたと判断した。

以上のことから、開発した鱗茎の植付け方法および球根対応簡易移植機により植付けた鱗茎は、慣行の手作業で植付けた鱗茎

と同等の生育および収量であったことから、その実用性が示された。

表 4-9 ワケギ鱗茎の植付け方法および鱗茎重量が収穫時の生育に及ぼす影響

作型	植付け方法	鱗茎 ^z 重量	調製重 (g)	草丈 (cm)	分けつ (個/株)	交合部径 (mm)	葉鞘基部径 (mm)	肥大指数 ^y
夏どり栽培	手植え（対照）	小球	28.3	44.0	7.2	7.1	12.5	1.76
		中球	37.0	45.2	10.3	6.9	12.6	1.84
		大球	41.7	44.6	13.1	7.0	12.4	1.77
	機械植付け	小球	31.1	45.5	7.3	7.5	13.0	1.74
		中球	38.7	46.0	10.6	7.5	13.1	1.76
		大球	42.6	45.3	14.3	7.2	11.8	1.66
	【各要因別の平均値】							
	手植え		35.7	44.6	10.2	7.0	12.5	1.79
	機械植付け		37.5	45.6	10.7	7.4	12.6	1.72
	(統計処理 ^v)	小球	29.7a ^x	44.8	7.3a	7.3	12.8	1.75
		中球	37.9b	45.6	10.5b	7.2	12.9	1.80
		大球	42.2b	45.0	13.7c	7.1	12.1	1.72
	植付け方法		NS ^v	NS	NS	NS	NS	NS
	鱗茎重量		**	NS	**	NS	NS	NS
	秋どり栽培	手植え（対照）	小球	46.4	46.1	8.5	8.8	12.3
中球			64.2	48.0	12.7	9.2	12.2	1.34
大球			88.6	50.3	17.4	9.7	11.3	1.30
機械植付け		小球	49.6	50.1	8.4	9.4	11.5	1.23
		中球	67.0	51.1	13.2	8.8	10.7	1.21
		大球	83.3	50.9	17.7	8.3	10.1	1.22
【各要因別の平均値】								
手植え		66.4	48.1	12.9	9.2	11.9	1.35	
機械植付け		66.6	50.7	13.1	8.8	10.8	1.22	
(統計処理)		小球	48.0a	48.1	8.5a	9.1	11.9	1.32
		中球	65.6ab	49.6	13.0b	9.0	11.5	1.28
		大球	86.0b	50.6	17.6c	9.0	10.7	1.26
植付け方法		NS	NS	NS	NS	**	*	
鱗茎重量		**	NS	**	NS	NS	NS	

^z 小球：3 g以上5 g未満，中球：5 g以上8 g未満，大球：8 g以上12 g未満

^y 肥大指数：葉鞘基部径/交合部径

^x 異なる英文字を付した数値間には、同一作型内でTukeyの多重検定により有意差 (P<0.05) があることを示す

^v 植付け方法はt検定，鱗茎重量は分散分析を行った

^v *は5%，**は1%水準で有意，NSは有意差が無いことを示す

第4節 結論

広島県の特産野菜であるワケギ栽培において、鱗茎の植付け作業は、中腰、手作業での辛い作業であることから、軽労・省力・効率化が急務である。そこで、第1節では長ネギ用の簡易移植機を利用した新たな鱗茎の植付け方法を考案した。本植付け方法は、水稻用育苗箱に展開した連結紙筒に鱗茎を装填し、上から培地を充填する。水稻育苗箱を一定時間水に浸漬した後、簡易移植機に装着して後ろ向きに引っ張ると、連結紙筒が一行に展開しながら、溝切り、植付け、覆土が同時に行える方法である。

連結紙筒へ装填が可能なワケギ鱗茎の割合は90%以上を占め、本方法による生育および収量は、慣行の手植えと同等であったことから、営利栽培への実用可能性が示された。しかし、簡易移植機の既存機種での鱗茎の植付けは、植付け深さの不均一、植付け時の鱗茎の転倒および機体への引っかかりが生じたことから、この問題を解決し、鱗茎の植付けに対応した新機種を開発する必要性が示された。

第2節では、既存の苗の簡易移植機に新たな機構の装着や構造変更を加え小型・軽量化し、ワケギ鱗茎の植付けに対応した以下の特徴を持つ簡易移植機を開発した。

- ・土壌表面を均平化し、鱗茎を一定の深さで植付けができる。
- ・植付け時の機体での鱗茎の転倒、引っかかりおよび脱落がなく、溝底へも植付けができる。

開発機種の植付け精度については、植付け深さの変動が極めて小さく、植付け時の機体への連結紙筒の引っかかりや転倒が

皆無となり、本機の鱗茎の植付けへの実用性が示された。なお、本機は鱗茎の植付け方法とともに特許取得し、「球根対応簡易移植機 ひっぱりくん®HP-12H」（日本甜菜製糖(株)）として実用化した。本機は鱗茎の他に軟弱野菜などの小さな苗を一定の深さで浅植えする品目への汎用が可能である。

第 3 節では、開発した球根対応簡易移植機による植付け時の作業時間、作業姿勢および自覚的運動強度に及ぼす影響を調査し、ワケギ鱗茎の生育に及ぼす影響を明らかにすることで、作業性および栽培の面から実用性を評価した。

その結果、開発した鱗茎の植付け方法および球根対応簡易移植機により、作業姿勢および自覚的運動強度が大幅に改善され明確な軽労化効果が認められ、慣行の手作業で植付けた鱗茎と同等の生育および収量であったことから、その実用性が示された。

第5章 総括

ワケギ (*Allium × wakegi* Araki) は, APG (Angiosperm Phylogeny Group) に基づく分類体系ではヒガンバナ科ネギ属に属し (河原, 2014), ネギ (*A. fistulosum* L.) を種子親, シヤロット (*A. cepa* L. Aggregatum group) を花粉親に持つ一代雑種である (田代, 1984, 図 1-1). 雌性雄性ともに配偶子が不稔で種子ができないことから (田代, 1984), 営利栽培では葉鞘基部にあたる鱗茎を栄養繁殖し種球として利用している.

ワケギ栽培では秋季に鱗茎を定植し (図 1-3A), 秋季の第一次生育期 (図 1-3B), 冬季の低温による生育停滞期および翌春の第二次生育期を経過し, 鱗茎 1 球が数十に分けつする (長谷川ら, 1979). その後, 長日に反応して鱗茎が肥大充実し, 倒伏した株を掘り上げる (図 1-3C). 掘り上げた株は, 10~20 球の鱗茎を交互に紐で数珠つなぎに結束し, 軒下に吊り下げて貯蔵し (図 1-3D), 6~12 月に定植する各作型の種球として随時使用する (図 1-3E). 広島県のワケギ生産は, 地域特産物として全国でも有数の生産量を維持している (表 1-1, 図 1-2) が, 栽培面積は年々減少傾向にあり, 生産性の向上および産地の維持が喫緊の課題である.

そこで本研究では, 西南暖地におけるワケギ生産性の向上と産地の維持を目的として, 初夏どり栽培用の種球栽培での鱗茎の肥大充実を促すための長日処理方法【第 2 章】, 年内の定植に利用可能な鱗茎割合の向上のための低温貯蔵を中心とした貯蔵方法の改善【第 3 章】, 植付け作業の省力・軽労化を目的としたワケギ鱗茎の植付け方法と, これに対応した球根対応簡易移植の開発と実用性の検証【第 4 章】を行った.

【第 2 章】 夏どり栽培以降の作型では, 春季の長日および高温により肥大充実した鱗茎を掘り上げて種球として用いる (長谷川ら, 1979) が, 3~5 月に鱗茎を定植する初夏どり栽培では, 肥大充実が十分でない鱗茎を 3 月に掘り上げ, これを種球として定植する. このため, 鱗茎の定植後の生育や収量の低下が生じる. そこで, 初夏どり栽培用の種球栽培において, 3 月の掘り上げ時の鱗茎の肥大充実を促すため, 電照による有効な長日処理方法について検討した.

第 1 節第 1 項では, 長日処理の光源および土壌表面の光合成有効光量子束密度 (PPFD), 第 2 項では, 光源の白熱電球への遠赤色光の付加が鱗茎肥大に及ぼす影響について検討した. その結果, 鱗茎の肥大促進に有効な光源は白熱電球が適しており, PPFD は慣行の 10 月定植, 5 月掘り上げの鱗茎の肥大指数と同等の 2.5 以上となる $0.5 \sim 2.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ とするのが有効であると判断された. また, 白熱電球への遠赤色光の付加により, 鱗茎肥大の促進には至らなかったことから, 現状では初期投資が少ない白熱電球を用いるのが良いと考えられた.

第 2 節では, 第 1 項において長日処理としての日長延長および暗期中断, 第 2 項では, 16 時間の長日処理の開始時期が鱗茎肥大に及ぼす影響を検討した. その結果, 15~16 時間の日長延長により鱗茎の肥大充実を促すことができ, さらに 3~4 時間の暗期中断によっても同等の効果が得られたことから, 暗期中断による電気代縮減の可能性が示唆された. また, 日長延長の処理開始が早いほど鱗茎の肥大が促進されるが, 期間が短いと鱗茎肥大および定植時の鱗茎重量が劣ることから, 遅くとも 1 月 1 日から 80 日間処理することが適当であると判断した.

第 3 節では, 3 時間の暗期中断の時間帯が鱗茎肥大に及ぼす影響について検討した. その結果, 効果的な暗期中断の時間帯は, 鱗茎の肥大指数や鱗葉長から判断すると暗期の中央よりやや遅い時間に存在すると推察され, 開始時間は暗期の中央よりやや遅い日没後の薄明から 9 時間後とし, 処理期間の後半には時間帯を早めることが有効であると考えられた.

第 4 節では, 冬季の生育停滞を回避して分けつおよび分球を促し, 鱗茎数を確保するため, 栽培中の最低気温および加温開始時期が掘り上げ時の生育および鱗茎肥大に及ぼす影響について検討した. その結果, 最低気温が高いほど, また加温開始時期が早いほど生育が旺盛となった. 加温開始は, 株重や分球数の増加がみられる 12 月上旬とし, 最低気温は加温に必要な燃油量のコストも考慮し $2 \sim 5^{\circ}\text{C}$ とするのが適当であると判断した.

【第 3 章】 種球増殖のための種球栽培においては, 十分に肥大充実した鱗茎を 6 月に掘り上げた後, 軒下に吊り下げ貯蔵するが, 貯蔵期間が長くなるにつれて鱗茎が乾燥して柔細胞が減少し, 繊維が残ったスポンジ状に萎縮する (川口ら, 2017). このため, 春どり栽培用の最終定植時期となる年末には, 定植に適する鱗茎が激減し, これらの鱗茎を定植しても萌芽および生育不良が生じる. そこで, 年内の定植に利用可能な鱗茎割合の向上を目的として, 慣行の軒下への吊り下げ貯蔵におけるワケギ鱗茎の品質変化を明

らかにし、低温貯蔵を中心とした貯蔵方法の改善を検討した。

第 1 節では、軒下吊り下げ貯蔵中の鱗茎の品質低下の推移と遮光処理が鱗茎の品質に及ぼす影響を検討した。その結果、鱗茎は 8 月中旬頃に休眠から覚醒し、CO₂ 交換速度の増加と重量の減少がみられ始め、9 月上旬から軟化鱗茎が急激に発生した。これに対し、貯蔵中の遮光処理は、8 月中旬以降の鱗茎の呼吸速度を抑制し、年末における鱗茎重量の減少を約 10%、軟化鱗茎の発生を約 20% 抑制し、定植可能な鱗茎が 20% 増加することを明らかにした。

第 2 節では 8 月以前(川口ら, 2017)からの貯蔵期間において、貯蔵中の温度および湿度が鱗茎の種球品質に及ぼす影響を検討した。その結果、低温貯蔵の開始時期は、より早い 7 月が有効であり、温度は 5℃以下で相対湿度は約 70~90%が適当であることが示された。

第 3 節では、鱗茎の低温貯蔵により鱗葉が発生し定植後の生育が劣ることが懸念されるため、低温貯蔵からの出庫時期、低温貯蔵後の予措方法が貯蔵中の鱗茎の品質と鱗葉形成、ならびに定植後の生育に及ぼす影響を調査した。その結果、7 月中旬から 5℃で貯蔵することで、定植時の鱗茎の軟化率が慣行の約 45%から 15%以下に軽減されたが、低温貯蔵により定植後の鱗葉の発生がみられた。鱗葉の発生軽減には、短くとも定植 60 日前の 10 月下旬まで低温貯蔵し、その後なりゆきで予措することが適切であると考えられた。

第 4 節では、第 2 節において、庫内の湿度を鱗茎の低温貯蔵に好適な湿度約 70~90%RH で維持することを目的とし、除湿機の稼働時間が庫内湿度に及ぼす影響を明らかにするとともに、玄米保管用の貯蔵庫のワケギの鱗茎の貯蔵への利用可能性を明らかにした。その結果、生鮮物を貯蔵する約 1 坪(3.3 m²)の予冷库において、市販の除湿機を 1 時間あたり 15~45 分稼働することが適していると考えられた。また、湿度設定モードを有する玄米保管用の貯蔵庫では、設定温度を 3~5℃、高湿モードにすることでワケギの鱗茎の貯蔵に適用できることが示唆された。

【第 4 章】ワケギの主な栽培作業として、鱗茎の定植(以下、植付け)、収穫および収穫物の調製作業が挙げられる(広島県農林水産部, 2006)。特に、鱗茎の植付け作業はつらさ指数(長町, 1995)が最大の 10 に相当する中腰姿勢による手作業が大部分であり(川口ら, 2007; 岡田ら, 2010)、その鱗茎数は 1 a 当たり最大 5000 球(株間 10 cm, 条間 20 cm)に及ぶ。そこで、植付け作業の省力・軽労化を目的とし、全国に普及している簡易移植機(ひっぱりくん[®], 日本甜菜製糖(株))を利用したワケギ鱗茎の植付け方法の検討、移植機の改良と実用性の検証を行った。

第 1 節では簡易移植機を利用した新たな鱗茎の植付け方法を考案し、実用性を検証した。その結果、連結紙筒へ装填可能なワケギ鱗茎の割合は 90%以上を占め、生育および収量は、慣行の手植えと同等であることを示した。しかし、既存の簡易移植機での鱗茎の植付けは、植付け深さの不均一、植付け時の鱗茎の転倒および機体への引っかかりが生じたことから、この問題を解決し、鱗茎の植付けに対応した新機種を開発する必要性が示された。

第 2 節では、既存の苗の簡易移植機に新たな機構の装着や構造変更を加えて小型・軽量化し、ワケギ鱗茎の植付けに対応した簡易移植機を開発した。開発機種による植付け深さの変動は極めて小さく、機体への連結紙筒の引っかかりや転倒が皆無であったことから本機の実用性が示された。本機は鱗茎の植付け方法とともに特許取得し、「球根対応簡易移植機 ひっぱりくん[®]HP-12H」(日本甜菜製糖(株))として実用化した。

第 3 節では、開発した球根対応簡易移植機について、作業性および生産性を評価した。その結果、球根対応簡易移植機を利用した植付けにより、作業姿勢および自覚的運動強度が大幅に改善されたことから、明確な軽労化効果が認められた。さらに、慣行の手作業で植付けた鱗茎と同等の生育および収量であったことから、その実用性が示された。

Abstract

Allium × *wakegi* Araki belongs to the genus *Allium* in the Amaryllidaceae based on APG (Angiosperm Phylogeny Group). It is first filial (F₁) generation between *A. fistulosum* L. and *A. cepa* L. Aggregatum group as maternal and paternal parents, respectively. Since the plant can not produce seeds because of the sterility of macro- and micro-spores, propagation for commercial production is carried out vegetatively. Production of bulbs is carried out as follows: Bulbs are planted in September, and dug in spring after their growth. The harvested bulbs are stored by hanging under the eaves, and then used for cultivation in the summer, autumn, winter, and in spring, by planting the bulbs from June to December. *Allium* × *wakegi* Araki is one of the regional specialties in Hiroshima Prefecture and the amount of the crop production in Hiroshima Prefecture is largest in Japan. The cultivation area, however, tends to decrease year by year, so that improvement of productivity and maintenance of the production area are urgent.

In this study, long-day treatments to obtain sufficiently hypertrophied seed bulbs in Chapter 2, cold storage to improve quality of seed bulbs in Chapter 3 and practicality of new method of planting bulbs using a simplified transplanting machine in Chapter 4, were investigated.

【Chapter 2】 Bulbs were planted from March to May for early summer -harvesting cultivation, so that the plant growth became inferior because of the insufficient bulb hypertrophy. Effects of long-day treatments were, therefore, investigated to obtain hypertrophied seed bulbs of *Allium* × *wakegi* Araki for early summer-harvesting cultivation.

In the first section, effects of light sources, photosynthesis photon flux density and addition of far-red light in long-day treatment were investigated to obtain hypertrophied seed bulbs. Lighting with the range from 0.5 to 2.7 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD by incandescent lamps made bulb hypertrophy index 2.5 similar to the value in conventional production to be planted in October and harvested in May. The addition of far red light to an incandescent lamp could not promote bulb hypertrophy. From these results, the author decided to use an incandescent lamp with low initial investment at present.

In the second section, effects of supplemental lighting, night break and period of long-day (16h) treatments were investigated to obtain hypertrophied seed bulbs. Day length of 15-16 hours accelerated bulb hypertrophy, and similar effects were observed by giving 3-4 hour night break treatment, an effective method to reduce the cost of electricity. Long and early long-day treatment increased bulb hypertrophy index, and the effect decreased in the short period treatments. It was concluded that supplemental lighting treatment for 80 days from January 1 is preferred for the high productivity.

In the third section, effect of time zone of night break treatment for three hours, equivalent to long day (15 hour day length) treatment, on bulb hypertrophy was investigated in seed bulb production. It was found that bulb hypertrophy was promoted by night break treatment for 3 hours from 9 hours after twilight after sunset, comparing to that at the center of the dark period, and planting the treated bulbs consequently gives vigorous growth.

In the fourth section, effects of heating temperature and start of heating on growth and bulb hypertrophy were examined. Higher temperature and earlier heat treatments resulted better growth and more number of bulbs. It is practically preferred that heating should be started before the beginning of December and minimum temperature should be more than 2 °C in consideration of the cost of the fuel oil.

【Chapter 3】 Sufficiently hypertrophied bulbs were harvested in June, and stored by hanging under eaves until use for seed bulbs. The quality of seed bulbs often decreases because of drying and softening as the storage period becomes longer. The number of transplantable bulbs consequently reduced drastically at the end of the final planting time for spring-harvesting cultivation, and germination and growth after planting were inferior. Effect of cold storage on the

quality of seed bulbs of *Allium × wakegi* Araki was investigated for improving the seed bulb quality, for spring-harvesting cultivation.

In the first section, effect of shading in hanging storage under the eaves on the quality of seed bulbs was investigated. Harvested bulbs were dormant until mid-August, and then increases of respiration rate, consumption and softening of bulbs were observed from early September. Shading during storage, however, suppressed the increase of respiration rate, and also prevented the decrease of the total sugar content of dry bulb in September. The bulb weight and rate of softened bulbs under shading were 10% higher and 20% lower than those in the control, respectively, and shading increased the rate of transplantable bulbs by 20% in the end of the year.

In the second section, effects of temperature and humidity on bulb quality and sprouting after planting were investigated as compared with the conventional storage method by hanging under eaves. It was found that the cold storage of the bulbs at 0 or 5°C, humidity 70 to 90% from July reduced bulb deterioration and promoted sprouting.

In the third section, effects of cold storage duration and pre-treatment temperature on bulb deterioration and growth after planting were investigated. Cold storage of the bulbs after harvesting inhibited the deterioration of the bulbs. The rate of softened bulbs in the end of December was approximately 45% under conventional storage method, and cold storage of the bulbs at 5°C from mid-July reduced the value to less than 15%. It is, therefore, preferred that seed bulbs should be stored at 5°C until the end of October or later, being shorter than 60 days before planting, and they should be pre-treated at uncontrolled temperature afterward.

In the fourth section, effect of the operation time of the dehumidifier in pre-cooling chamber was investigated to maintain humidity from 70 to 90 RH% suitable for seed bulbs of *Allium × wakegi* Araki. The usefulness of a brown rice storage room for *Allium × wakegi* Araki bulbs was also investigated. The operation time of commercial dehumidifier for 15 to 45 minutes per hour in a pre-cooling chamber was suitable for storing bulbs. In addition, a storage room for brown rice by setting the temperature to 3 to 5 °C and high humidity mode was suitable for storage of bulbs.

【Chapter 4】 Planting work for *Allium × wakegi* Araki bulbs is harsh to the body since it is performed manually in a squatting position. The planting density is especially high in summer-harvesting cultivation, and the number of bulbs planted reaches 5000 a⁻¹. Reduction of labor and improvement in planting efficiency were attempted. A new method of bulb planting and applicability of simplified transplanting machine were investigated for planting *Allium × wakegi* Araki bulbs.

In the first section, a planting method for *Allium × wakegi* Araki bulbs using an existing simplified transplanting machine and its practicality were investigated. The method was highly applicable to *Allium × wakegi* Araki, since the rate of bulbs that can be loaded into the connected paper pot before planting was more than 90% of the seed bulbs. Nevertheless, an existing simplified transplanting machine resulted less uniform planting depth, turned-down bulbs, and tangling the bulbs with the machine. Therefore, these problems were designated as subjects to be resolved for the development of planting machine that was adapted to bulb planting.

In the second section, the author has developed a improved simplified planting machine. The new model had been downsized, and was light in comparison to an existing machine. The accuracy of bulb planting by the improved simplified planting machine had been evaluated. The uniformity and precision of planting depth had been significantly increased. In addition, none of the bulbs fell from the connected paper pot and entangled with the machine. These results indicate that the improved simplified planting machine is of practical use. This new simplified planting machine was award a patent and was put to practical use as "bulb-compatible simple transplanter Hippari-Kun HP-12H".

In the third section, effects of using the improved simplified planting machine on practicality of workability and

productivity were investigated. Improvement of rating of perceived exertion and work posture of laborers were realized with the improved simplified planting machine for *Allium* × *wakegi* Araki bulbs. The growth and yield by using the improved simplified planting machine were comparable to the bulbs that were manually planted, so that practicality of the machine has been indicated.

謝辞

本論文をとりまとめるにあたり、九州大学大学院農学研究院 准教授 尾崎行生博士には常に懇切丁寧なご指導とご助言および線密なご校閲を賜った。

また、九州大学大学院農学研究院 教授 望月俊宏博士、生物環境利用推進センター教授 吉田敏博士、農学研究院 元准教授 若菜章博士には、貴重なご校閲を賜った。

九州大学 熱帯農学研究センター 准教授 宮島郁夫博士、大学院農学研究院 助教 水ノ江雄輝博士、准教授 酒井かおり博士、ならびに 准教授 安武大輔博士には、大学院在籍中において本研究の遂行およびとりまとめにあたり親切丁寧なご指導を賜った。ここに謹んで深く感謝の意を表する。

九州大学大学院生物資源環境科学府 博士課程ならびに広島県立総合技術研究所農業技術センター 坂本隆行主任研究員と九州大学大学院生物資源環境科学府 博士課程 伏原肇氏には、同じ博士課程に在籍し本論文のとりまとめや研究者としての心構えについてご指導とご助言を賜った。

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター 畑作園芸研究領域 元主任研究員 山崎博子博士には、全国的に数少ないワケギに関する研究者としてワケギの生理、生態などの技術的な内容について多大なるご指導およびご助言を賜った。

高知大学農林海洋科学部大学院 教授 河野俊夫博士には、ワケギをはじめとする青果物の保蔵科学について多大なるご指導およびご助言を賜った。

広島大学生物生産学部 元教授 藤田耕之輔博士には、ワケギの鱗茎内の糖の分析について多大なるご指導およびご助言を賜った。

日本甜菜製糖株式会社 南田秀樹 元関門営業所所長、川本靖信 元総合研究所第3グループ主任研究員、佐藤彩佳 元総合研究所第3グループ研究員、坂井啓之 元門営業所所長、若松寛幸 関門営業所所長、関門営業所 岩下将士氏、元関門営業所 國枝勝弘氏には、球根対応簡易移植機の開発にあたり共同研究者として多大なるご指導、ご助言およびご協力を賜った。

元 JA 全農ひろしま 資材農産部 中川良和氏、JA 三原 池原幸伸 元木原出張所所長、JA 尾道市 営農販売課 道仲滝夫部長には、現地におけるワケギ栽培についてのご指導とご助言を賜った。

広島県立総合技術研究所農業技術センター 新田浩通 元センター長、平尾晃 次長、前田光裕 元栽培技術研究部長には、研究遂行上の御配意と激励を賜った。同センター 次長 石倉聡博士、生産環研究部長 梶原真二博士、同部元総括研究員 伊藤純樹博士には、学術論文のまとめ方について貴重なご指導とご助言を賜った。同センター 長谷川繁樹 元センター長 には、本県におけるワケギに関する研究の先駆者として多大なるご指導およびご助言を賜った。同センター 元次長 那波邦彦博士、元次長 故今井俊治博士、元生産環境研究部長 房尾一宏氏には、研究や技術開発に対する考え方や姿勢について貴重なご助言と激励を賜った。同センター 岡田牧恵 元副主任研究員、古田貴音 主任研究員、上藤満宏 主任研究員、柳本裕子 主任研究員、同研究部の諸氏には、ワケギに関する研究業務を進める共同研究者として多大なるご協力を賜った。同センター 元管理課 中野敏朗氏、青木修治氏、管理課 大武守氏には圃場における栽培管理の支援や実験装置等の製作において多大なるご指導およびご協力を賜った。

本研究を進める過程でご指導およびご尽力を頂いた上記ならびにすべての広島県立総合技術研究所農業技術センターの職員の方々に心より感謝の意を表する。

本研究は、筆者が広島県立総合技術研究所農業技術センターに勤務しながら、九州大学大学院生物資源環境科学府に在籍して実施およびとりまとめたものである。

なお、本研究の一部は、農林水産省プロジェクト研究『新鮮でおいしい「ブランド・ニッポン」農産物提供のための総合研究 6 系 (2003-2005)』で行ったものである。

最後に、九州大学大学院への在籍や本論文をとりまとめるにあたり、快諾頂き常に心身を支えてくれた家族に感謝する。

引用文献

- 青葉 高. 1956. 玉葱の肥大及び休眠に関する研究. 第4報. 玉葱の萌芽に対する貯蔵温度の影響. 園学雑. 24:265-270.
- 青葉 高. 1963. タマネギの球形形成および休眠に関する研究. 第7報. 掘り上げ時期の早晚および掘り上げ後の処理が球形形成および萌芽期に及ぼす影響. 園学雑. 32:224-228.
- 青葉 高. 1964. タマネギの球形形成および休眠に関する研究. 山形大紀要(農). 4:265-363.
- 青葉 高. 1965. ニンニクの球形形成に関する研究. 第1報. タネ球の大きさ, 日長, 品種が球形形成および花序の分化, 発育に及ぼす影響. 園学雑. 35:284-290.
- 青葉 高. 1967. ラッキョウの球形形成過程並びに球形形成および花序分化に及ぼす日長の影響. 山形大紀要(農). 5:101-109.
- 青葉 高. 1974a. 球根作物の球形形成に及ぼす温度の影響. 第3報. フリージアの二階球形形成に及ぼす高温処理の影響. 園学雑. 42:341-346.
- 青葉 高. 1974b. 球根作物の球形形成に及ぼす温度の影響. 第6報. 球根アイリスの鱗茎形成について. 園学雑. 43:273-280.
- 青葉 高. 1976. 球根作物の球根形成に及ぼす温度の影響. 第9報. チューリップの鱗茎形成について. 山形大紀要(農). 7:387-399.
- 青葉 高・高樹英明. 1971. ニンニクの球形形成に関する研究. 第3報. タネ球の低温処理ならびに植付け後の日長条件の影響. 園学雑. 40:240-245.
- Borg, G. A. V. 1982. Psychophysical bases of perceived exertion. Med.Sci.Sports Exercise. 14:377-381.
- CASIO. 2016. 日の出日の入り. 生活や実務に役立つ計算サイト. <<http://keisan.casio.jp/exec/system/1236677229>>
- 藤枝國光・安谷屋信一・大久保敬・高橋基一・松尾英輔. 1980. ワケギ(*Allium wakegi* Araki.)の種内分化に関する研究. 園学雑. 49:180-188.
- 藤原一道. 1992. スカシユリ抑制栽培における球根サイズと切花品質. 東北農業研究. 45:305-306.
- 船越圭市. 1989. 開花調節技術. P. 28-38. 切り花栽培の新技术. 改訂キク 上巻 誠文堂新光社. 東京.
- 船越建明. 2002. ワケギ. 広島県. p. 237-238. 都道府県別地方野菜大全. 農山漁村文化協会. 東京.
- 古田貴音・西濱健太郎・重本直樹・池田好伸・松下利恵・川口岳芳. 2012. ワケギ新品種‘広島12号’の夏季栽培特性. 園学研. 11(別2):199.
- 古田貴音・西濱健太郎・重本直樹・池田好伸・松下利恵・川口岳芳. 2013. ワケギ新品種‘広島13号’の夏季栽培特性. 園学研12. (別1):137.
- 白山竜次・郡山啓作. 2013. キクの電照栽培における暗期中断電照時間帯が花芽分化抑制に及ぼす影響. 園学研. 12:427-432.
- 白山竜次・郡山啓作. 2014. キクにおける限界日長と花芽分化抑制に効果の高い暗期中断の時間帯との関係. 園学研. 13:357-363.
- Hamner, K. C. and Bonner, J. 1938. Photoperiodism in relation to hormones as factors in floral initiation and development. Bot. Gaz. 100:388-431.
- Hartman, K. M. 1966. A general hypothesis to interpret ‘high energy phenomena’ of photomorphogenesis on the basis of phytochrome. Photochem. Photobiol. 349-366.
- 長谷川繁樹. 1990a. ワケギ各作型での基本技術と生理. p. 389-413. 農業技術大系 野菜編8(1). ネギ ニンニク ニラ ワケギ 他ネギ類. 農文協. 東京.
- 長谷川繁樹. 1990b. ワケギ各作型での基本技術と生理. p. 173-178. 農業技術大系 野菜編8(1). ネギ ニンニク ニラ ワケギ 他ネギ類. 農文協. 東京.
- 長谷川繁樹. 1999. ワケギ. p. 188-202. 広島の野菜作り HIROSHIMA Vegetable. JA広島経済連 広島県野菜振興協会. 広島.
- 長谷川繁樹・船越建明・桂 直樹・吉岡 宏. 1991. 吸水処理によるワケギの休眠打破. 園学雑. 60:567-574.
- 長谷川繁樹・吉田隆徳・沖森 当. 1979. ワケギの栽培学的研究. 第1報. 生育特性と鱗茎の形成肥大について. 広島農試報. 41:35-50.

- 長谷川繁樹・吉田隆徳・沖森 当. 1981. ワケギの栽培学的研究. 第2報. 休眠覚醒におよぼす高温処理の影響について. 広島農試報. 44:53-62.
- 羽柴輝良・金浜耕基. 2002. 改訂第3版 新農学実験マニュアル. p. 175-185. ソフトサイエンス社. 東京.
- 林真紀夫・古在豊樹・岡田益己. 1986. 暖冷房負荷の算定法〔1〕—暖房負荷の算定法—. 農業および園芸. 61:1342-1348.
- 樋口春三. 1993. 光周性. 生長・開花とその調節. p. 23-27. 農業技術大系 花卉編1. 農文協. 東京.
- 平尾陸郎・横井正治. 1963. ニンニクの栽培に関する研究(第1報)種球の大小について. 青森農試報. 8:118-122.
- 広島県. 2011. 特定高性能農業機械導入計画.
<<http://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/1547.pdf>>.
- 広島県農林水産部. 2006. p. 166-175. 経営指標. 広島県.
- 広島県園芸振興協会. 2014. p. 4-5. 野菜振興推進計画. 広島県.
- 伊垢離孝明・白岩裕隆・田村佳利・福本明彦. 2011. 根深ネギ栽培におけるロングピッチ連結ペーパーポットの有効性. 近畿中国四国農業研究. 19:25-30.
- 池田勝彦. 1969. 晩生水稲における光中断効果(その1). 日作東海支部研梗概. 56:29-32.
- 池田好伸・井本征史. 1991. 茎頂培養によるワケギウイルスフリー株の育成とその効果. 広島農試報. 54:41-46.
- 今堀義洋. 2006. 低酸素貯蔵環境における青果物の品質保持と代謝調節機構に関する研究. 日食保蔵誌. 32:89-98.
- 今堀義洋・甲田美香・上田悦範. 1998. 低酸素濃度下の数種果実における低酸素障害発生と呼吸活性との関係. 日食保蔵誌. 24:303-308.
- 稲葉昭次・久保康隆・中村怜之輔. 1989. 青果物の呼吸活性に及ぼすエチレンの作用力とその温度特性. 園学雑. 58:713-718.
- JAグループ広島. 2015. ワケギ出荷最盛期へ. 広島県内農業ニュース.
<<http://www.ja-hiroshima.or.jp/wp/?p=2213>>.
- Kamerbeek, G. A. 1962. Respiration of the iris bulb in relation to the temperature and the growth of the primordia. Acta Botanica Neerlandica. 11:331-410.
- 金子英一・Tjeerd Blacquiere. 1997. 光中断の時間帯と光の強さがキクの開花に及ぼす影響. 九州農業研究. 59:177.
- Karhu, O., P. Kansil and I. Kuorinka. 1977. Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. Applied Ergonomics. 8:199-201.
- 加藤 徹. 1963. タマネギの球の形成肥大および休眠に関する生理学的研究. 第1報 球の形成肥大の様相. 園学雑. 32:229-237.
- 加藤 徹. 1965. タマネギの球の形成肥大および休眠に関する生理学的研究. 高知大農紀要. 14:1-92.
- 加藤 徹. 1973. タマネギ 植物としての特性. p. 3-12. 農業技術体系野菜編8(2). タマネギ アスパラガス. 農文協. 東京.
- 加藤 徹. 1981. タマネギ 生育のステージと生理, 生態. p. 15-83. 農業技術大系野菜編8(2). タマネギ アスパラガス. 農文協. 東京.
- 加藤 徹. 1993. タマネギ 生育のステージと生理, 生態. p. 55-108の7. 農業技術大系野菜編8(2). タマネギ アスパラガス. 農文協. 東京.
- 川口岳芳・房尾一宏. 2005. ワケギの初夏どり栽培用種球のりん茎肥大に及ぼす日長並びに暗期中断の影響. 園学雑. 74(別2): 660.
- 川口岳芳・房尾一宏. 2006. ワケギ夏どり栽培における遮光並びに光質制御被覆資材の種類と被覆方法がりん茎の肥大抑制に及ぼす影響. 園学雑. 75:538.
- 川口岳芳・房尾一宏. 2007. ワケギ種球の軒下吊り下げ貯蔵における遮光が種球劣化に及ぼす影響. 園学研. 6(別2):571.
- 川口岳芳・房尾一宏. 2010. 異なる電照光源および光強度による長日処理がワケギ初夏どり栽培用種球生産に及ぼす影響. 広島総研農技セ研報. 87:1-8.
- 川口岳芳・房尾一宏・前田圭治・橋本晃司・奥野林太郎. 2007. ワケギ生産の機械化一貫体系に関する技術的可能性. 農業工学関連2007年合同大会要旨CD-ROM版.
- 川口岳芳・房尾一宏・尾崎行生. 2017. 春どり栽培用ワケギ‘寒知らず’の軒下吊り下げ貯蔵における遮光が鱗茎の種球品質に及

ぼす影響. 園学研.

- 川口岳芳・南田秀樹・川本靖信・佐藤彩佳. 2014. 簡易移植機を利用したワケギ球根の植付方法の開発とその実用可能性. 農業研究. 49:57-67.
- 川口岳芳・南田秀樹・川本靖信・佐藤彩佳・尾崎行生. 2015a. ワケギ球根の植付けに対応した簡易移植機の開発と植付精度の評価. 農作業研究. 50:25-35.
- 川口岳芳・南田秀樹・川本靖信・佐藤彩佳・尾崎行生. 2015b. ワケギ球根の植付けに対応した簡易移植機による作業性の改善. 農作業研究. 50:91-101.
- 河原孝行. 2014. APGに基づく植物の新しい分類体系. 森林遺伝育種. 3:15-22.
- 川田穰一・遠藤 久・望月龍也・関山哲雄. 1996. 第1章 花きの電照・補光栽培技術. p. 3-142. 電照・補光栽培の実用技術 新しい花き・野菜・果樹づくり. 社団法人 農業電化協会. 東京.
- 小林 保・桐村義孝. 1993. ワケギの種球先端剪除, 冷水浸漬による休眠打破技術. 兵庫中央農技研報. 41:11-16.
- 小林泰生. 2004. 切花生産 開花期, 収量, 品質を左右する要因と技術的対応. p. 488-494. 農業技術大系 花卉編10. 農山漁村文化協会. 東京.
- 国立天文台. 2015. 暦の計算. <<http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/dni/dni35.html>>
- 小西国義・今西英雄・五井正憲. 1990. 花卉の開花調節. p. 21-31. 養賢堂. 東京.
- 丸山竹男・下原孫一・松尾和文・毛利文男・高山裕章. 1988. ワケギの周年栽培技術. 大分農技セ報. 18:87-100.
- 村田 敏・宮内樹代史・王 延耀. 1993. 生鮮農産物の呼吸量の測定. 農機誌. 55: 69-75.
- 長町三生. 1995. 安全管理の人間工学. P. 104-105. 海文堂出版. 東京.
- 農耕地土壌分類委員会. 1995. IV土壌群の定義. p. 31-38. 農業環境技術研究所資料第17号 農耕地土壌分類. 第3次改訂版. 農業環境技術研究所. 茨城県.
- 農林水産省. 2011. 平成23年版食料・農業・農村白書. p. 227-232. 財団法人農林統計協会. 東京.
- 農林水産省. 2016. 地域特産野菜生産状況調査.
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_yasai/index.html>
- 緒方邦安. 1952. 生鮮農産食品の貯蔵に関する研究. 第4報. 葱頭鱗茎の大小と貯蔵性並に貯蔵期間中に於ける代謝作用. 園学雑. 21:29-36.
- 緒方邦安・邨田卓夫・蔡 平里. 1960. タマネギ鱗茎の休眠と呼吸機構に関する研究. 園学雑. 29:129-134.
- 小川 勉・松原德行. 1982. ワケギの結球に関する研究. 第2報. 低温経過の有無と日長, 温度感応性の相違. 九州農業研究. 44:223.
- 岡田牧恵・川口岳芳・川本靖信・佐藤彩佳・南田秀樹・橋本晃司・横山詔常. 2010. ワケギ球根植付作業の軽労・省力化を実現する球根対応植え付け機の作業性評価. 園学研. 9(別2):513.
- 沖森當・長谷川繁樹. 1983. ワケギの品種生態と新作型ならびに栽培上の問題点. 農業および園芸. 58:799-805.
- 大久保増太郎・椎名武夫・長谷川美典・宮崎丈史. 1998. 野菜の鮮度保持マニュアル. p. 3-169. 流通システム研究センター. 東京.
- 大久保 敬・安谷屋信一・高橋基一・藤枝國光. 1981. ワケギ(*Allium wakegi* Araki)の球形成に関する研究. 園学雑. 50:37-43.
- 大西忠男・岸本基男・置塩康之・入江和巳・森 俊人・上岡誉富. 1981. タマネギの機械収穫と乾燥・貯蔵に関する研究. 6. 兵庫式改良貯蔵小屋での貯蔵による灰色腐敗病の防止効果. 兵庫農総セ研報. 29:83-90.
- 坂井康弘・小林泰生・谷川孝弘・近藤英和. 1993. スカシユリ系交雑品種の組織培養球根に対する温湯, 低温処理が生育に及ぼす影響. 福岡農総試研報. B-12:21-36.
- 佐々木 厚・吉村正久・鈴木誠一・森山 巖・金浜耕基. 2013. 赤色電球形蛍光ランプによる暗期中断時間と光強度がスプレーグクの開花と花房の形状に及ぼす影響. 園学研. 12:187-194.
- 佐藤一郎・田辺賢二. 1970. 砂丘地におけるラッキョウ栽培に関する研究. 第1報. 生育相について. 鳥取大砂丘研報. 9:1-8.
- 三愛化成商事株式会社. 2016. エチレングスの影響. <http://www.san-ai-corp.com/re_ethylene/gas.html>.
- 渋谷俊夫. 2014. 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科緑地環境科学専攻 生物環境調節学研究グループ実験実習. 植物

の光合成能力の評価.

<<http://envbio.envi.osakafu-u.ac.jp/osakafu-content/uploads/sites/34/2015/12/Chamber-1.pdf>>.

- 植物栄養実験法編集委員会. 1990. 第IV章. 無機成分分析法. p. 114-173. 植物栄養実験法. 博友社. 東京.
- 田口亮平. 1948. ワケギの發育經過中特に越冬並に鱗茎形成に伴う体内生理条件の変化. 園学雑. 17:59-68.
- 高樹英明. 1979. ニンニクの球形成と休眠に関する研究. 山形大紀要(農). 8:507-599.
- 高樹英明. 1987. アサツキの成長力の季節的変動と休眠. 園学雑. 56:60-69.
- 高樹英明・青葉 高. 1976. ニンニクの球形成に関する研究. 第5報. 山形大紀要(農). 7:85-102.
- 高樹英明・青葉 高. 1977. ニンニクの球形成に関する研究. 第7報. 貯蔵葉の形成誘導と形成. 肥大に及ぼす温度と日長の影響. 山形大紀要(農). 7:423-438.
- 高市益行・川嶋浩樹・黒崎秀仁. 2007. わが国各地における各種温室の暖房燃料消費量の試算ツール. 野菜研成果情報. 9-10.
- 玉木雅子・鵜飼光子・村田容常・本間清一. 2002. 北海道産タマネギ長期貯蔵中の品質変化. 食科工誌. 49:670-678.
- 田中征勝・池 光鉉・小餅昭二. 1985a. 春まきタマネギの貯蔵に関する研究. 第1報. タマネギの萌芽に及ぼす貯蔵温度, 湿度の影響. 北海道農試研報. 141:1-16.
- 田中 征勝・池 光鉉・小餅 昭二. 1985b. 春まきタマネギの貯蔵に関する研究. 第2報. タマネギの腐敗に及ぼす貯蔵温度, 湿度の影響. 北海道農試研報. 141:17-28.
- 田中征勝・Jose Villamil・小餅昭二. 1985c. 春まきタマネギの貯蔵に関する研究. 第3報. タマネギの発根, 茎盤部突出に及ぼす貯蔵温度, 湿度の影響. 北海道農試研報. 144:9-30.
- 田代洋丞. 1984. ワケギの起源に関する細胞遺伝学的研究. 佐賀大農集報. 56:1-63.
- 寺分元一. 1965. タマネギの鱗茎形成に関する研究. 第1報. 鱗茎形成と生育とに及ぼす光質の影響. 園学雑. 34:52-60.
- 寺分元一. 1970. タマネギのりん茎形成に関する研究. 第5報. 青色光, 赤色光および近赤外光の混合光がりん茎形成に及ぼす影響. 園学雑. 39:35-40.
- 寺分元一. 1978. 赤色光と遠赤色光混合によるタマネギ, ワケギ及びニンニクの肥大. 神大農研報. 13:1-6.
- 塚本洋太郎・坂西義洋・妻鹿加年. 1953. 光中断による切花の促成と抑制. 園学雑. 22:177-182.
- 土屋恭一. 1999. 連結ポット(チェーンポット)苗の育苗. p. 209-219. 農業技術大系 野菜編8(1). ネギ ニンニク ラッキョウ ニラ ワケギ 他ネギ類. 農文協. 東京.
- 宇土 博. 2005. 人と福祉・介護機器の調和を科学する. p. 112-127. 福祉工学入門労働調査会. 東京.
- 上野善和・伊藤元栄・松川淳子. 1961. イチゴの花成と栄養成長に関する研究. 第2報. Light Breakの影響. 園学雑. 31:78-72.
- 八鍬利郎. 1963. 葱属植物の分蘖・分球に関する研究. 北海道大農学部邦文紀要. 4:130-214.
- 八鍬利郎. 1999. ニンニク 生育のステージと生理, 生態. p. 111-200. 農業技術大系野菜編. 農山漁村文化協会. 8(1). ネギ ニンニク ラッキョウ ニラ ワケギ 他ネギ類. 農文協. 東京.
- 八鍬利郎. 2008. ネギ 生育のステージと生理, 生態. p. 13-84. 農業技術体系野菜編. 農山漁村文化協会. 8(1). ネギ ニンニク ラッキョウ ニラ ワケギ 他ネギ類. 農文協. 東京.
- 山田貴義・琴谷 稔. 1971. 玉ネギの冬どり栽培に関する研究. 第3報. 球の形成肥大に及ぼす環境要因の影響. 大阪農技セ研報. 8:25-38.
- 山崎博子. 2003. ワケギのりん茎形成制御およびりん茎形成・休眠の生理機構に関する研究. 野菜茶研報. 2:139-211.
- 山崎博子・濱野 恵・本多一郎. 2003. 休眠覚醒過程におけるニンニクリん茎のアブシジン酸濃度, 呼吸速度およびTTC還元力の変化. 園学雑. 72別(2):180.
- 山崎博子・庭田英子・矢野孝喜・長菅香織・山崎 篤. 2010. ニンニクリん茎の自発休眠, 他発休眠および呼吸速度に及ぼす収穫後温度の影響. 東北農研研報. 111:17-27.
- 野菜・茶業試験場. 1989. 野菜の種類別, 基本作型別, 地域別作型分布とその呼称に関する調査結果の総覧. p. 266-267. 改訂版全国野菜・花きの種類別作型分布の実態とその呼称(野菜編). 農林水産省・野菜茶業試験場. 三重.
- 吉野蕃人. 1967. チューリップ球根の貯蔵中の呼吸について. 島根農大研報. 15(A-1):24-27.