

タマネギ直播栽培における気温による展葉数推定法の検討

誌名	園芸学研究
ISSN	13472658
著者名	白木,一英 室,崇人 末貞,辰朗 東野,裕広 川城,英夫 森田,直彦 森永,靖武
発行元	園芸学会
巻/号	18巻1号
掲載ページ	p. 17-23
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



タマネギ直播栽培における気温による展葉数推定法の検討

臼木一英^{1*}・室 崇人²・末貞辰朗³・東野裕広³・川城英夫³・森田直彦³・森永靖武³

¹ 農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター大規模畑作研究領域
082-0081 北海道河西郡芽室町新生南

² 農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター作物開発研究領域
062-8555 北海道札幌市豊平区羊ヶ丘

³ JA 全農営農販売企画部営農・技術センター農産物商品開発室 254-0016 神奈川県平塚市東八幡

Consideration of Methods to Estimate the Leaf Number of Direct Seeding Onions (*Allium cepa* L.) Using Air Temperature

Kazuei Usuki^{1*}, Takato Muro², Tatsuro Suesada³, Yasuhiro Higashino³,
Hideo Kawashiro³, Naohiko Morita³ and Yasutake Morinaga³

¹ Large-scale Farming Research Division, Hokkaido Agricultural Research Center, NARO,
Shinseiminami, Memuro, Kasai, Hokkaido 082-0081

² Crop Breeding Division, Hokkaido Agricultural Research Center, NARO, Hitsujioka, Toyohira, Sapporo, Hokkaido 062-8555

³ Agricultural Research and Development Center, National Federation of Agricultural Cooperative Associations,
Higashiyawata, Hiratsuka, Kanagawa 254-0016

Abstract

The number of leaves on an onion plant, which is an important element of the yield, is related to the bulb diameter and weight. In order to estimate the number of leaves of an onion plant based on the accumulated temperature, we compared several calculation methods. The fitness of the estimation formula for a specific calculation method was verified by examining different variables: sowing date, cropping type, and method of phosphoric acid fertilization (broadcast or locally applied). As a result, the accuracy of the estimation method using the daily average temperature was lower than the triangle method and the average temperature method with a base temperature of 3.5°C or 5.0°C. In addition, when the base temperature to calculate the effective temperature was set for the accumulated temperature method or triangle method, a base temperature of 5.0°C was more accurate than that of 3.5°C. Therefore, our results indicate that the formula of the average temperature method with the base temperature set to 5.0°C is highly correlated with the effective temperature and number of leaves, and the prediction estimation error is small. In different cropping types, the average temperature method with a base temperature of 5.0°C was the most accurate. Based on our results, the estimation formula with the highest estimation accuracy is the average temperature method with a base temperature of 5.0°C. However, further examination is required involving other varieties and regions, but the coefficient of the estimated formula suggests that onion plants develop 1.5 leaves per accumulated temperature above 5.0°C of 100°C · day.

Key Words : accumulated temperature, local fertilization, triangle method

キーワード : 局所施肥, 三角法, 積算温度

緒 言

タマネギ (*Allium cepa* L.) のりん茎形成は、形態の異なった数種の葉から構成された葉数の増加と各葉鞘の肥厚によって行われる (青葉, 1964)。タマネギの肥厚葉は、貯蔵葉形成期に既に葉身がある葉の葉鞘が肥厚したもので、りん茎肥大の開始時期に多くの葉数を持つ株は、肥大するりん茎が大きくなり易い (青葉, 1951, 1964)。また、

タマネギの春播き移植栽培では、葉身を持つ葉の数が年次間や播種期の違いにより変動し、りん茎肥大の開始時期およびりん茎重を左右する (山崎ら, 2015)。これらの報告は、タマネギの葉数がりん茎重に関わる重要な要素の1つであることを示唆している。

Lancasterら (1996) は、基準温度を5.0°Cとする有効積算温度が展葉と密接に関連することを示し、Brewster (2008) は、基準温度3.5°Cとする積算温度に比例して葉数が直線的に増加することを認めた。積算温度の算出方法は、いくつか提案されている (Lancasterら, 1996; 坂神・是永, 1981; Watanabe, 1978) が、これまでにタマネギの葉数を積算温度から推定する場合に、複数の積算方法を比較して適合度

2018年3月16日 受付。2018年6月22日 受理。
本報告の一部は園芸学会平成29年度秋季大会で発表した。
* Corresponding author. E-mail: kazuei@affrc.go.jp

を検討した報告は見られない。作物は異なっているが、大沼・佐々木 (1993) は、ダイコン根重とハクサイ全重について、日平均気温の積算による値と三角法により算出した温度を積算した値を用いた生育予測法を比較し、三角法による積算温度を用いることで、収量との間により高い相関が得られるとした。この三角法は、気温の日変化の影響を考慮するために最低気温と最高気温を用いて1日当たりの有効温度を計算する方法である (坂神・是永, 1981)。本報告では、タマネギの生育指標として重要である葉数を気温から推定することを目的として、三角法および日平均気温を用いる平均気温法を比較した。

また、展葉数は、リン酸の直下施肥を行うことで、りん茎の生育初期には0.4~0.7枚多くなる (臼木ら, 2016)。このようにリン酸直下施肥は展葉を早める可能性がある。そこで、リン酸の全層施肥と直下施肥の違いが積算温度と葉数の回帰式の係数に及ぼす影響を明らかにするとともに秋播き栽培における台風遭遇の危険を避けた3回の播種日と作型を異にする融雪後の春播き栽培における展葉数についても上記の回帰式の適合度を検証した。

材料および方法

1. 栽培方法

積算温度の算出方法を検討するために全農営農・技術センター現地圃場 (神奈川県茅ヶ崎市中島字向河内1268, 北緯35.3, 東経139.4, 標高2.5m) の褐色低地土圃場において1区0.5×1.5mの試験区を4反復分設けた。また、異なる作型における回帰式の適合度を検証するために、秋播きとした全農営農・技術センター現地圃場とは日平均気温の推移が大きく異なる春播きを行った農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター (北海道札幌市豊平区羊ヶ丘1, 北緯43.0, 東経141.4, 標高81.3m, 以下では北海道農業研究センターと記載) と同センター芽室研究拠点 (北海道河西郡芽室町新生南9, 北緯42.9, 東経143.1, 標高93.9m, 以下では芽室研究拠点と記載) の火山性土圃場において1区0.5×1.5mの試験区を3反復分設けた。

タマネギは、'もみじ3号' ((株)七宝) のコート種子をすべての圃場において供試した。全農営農・技術センター現地圃場における施肥は、2015年9月25日に基肥、3月29日に追肥を施用した。基肥の全層施肥は、窒素(N)、リン酸(P_2O_5) およびカリウム(K_2O) を基肥としてそれぞれ成分量で10, 30, 10g・m²施用した。また、直下施肥は、末貞ら (2018) の報告に従い、窒素とカリウムを各10g・m²、リン酸20g・m²を2015年9月25日に全層施肥するとともに播種時にリン酸10g・m²を播種条の下方2~4cm, 幅4~5cmに施肥した。全層施肥に用いた肥料は、化成肥料 (くみあい複合燐加安42号, ジェイカムアグリ(株)) および過リン酸石灰 (くみあい17.5粒状過リン酸石灰, コープケミカル(株)) を混合して施用した。直下施肥に用いた肥料は、過リン酸石灰を施用した。なお、全層施肥で

は、肥料散布後にロータリー耕を行うことによって0cmから20cmの層を攪拌した。播種は、クリーンシーダAPS-40C (アグリテクノ矢崎(株)) を用いて行った。全農営農・技術センター現地圃場の播種は、秋播きのために台風遭遇を避けた10月8日と10月15日、10月21日に行った。なお、10月21日の播種の施肥方法は、全層施肥と直下施肥を組み合わせた処理のみとした。追肥は、リン酸およびカリウムが3g・m²となるように上記の化成肥料を手で表層施肥した。北海道農業研究センターにおける施肥は、2016年4月6日に基肥を全層施肥、芽室研究拠点では、2016年4月19日に基肥を全層施肥した。北海道農業研究センターにおける基肥は、窒素を15g・m²、リン酸を10g・m²を施用した。用いた肥料は硫黄被覆尿素(SCU(M), サンアグロ(株)) を全層施肥するとともに、全農営農・技術センター現地圃場と同じ方法を用いて、過リン酸石灰を播種条の下方2~4cm, 幅4~5cmに施肥した。芽室研究拠点における基肥は、窒素(N)、リン酸(P_2O_5) およびカリウム(K_2O) をそれぞれ15, 45, 15g・m²施用した。用いた肥料は、化成肥料 (エーコーブ苦土入り複合硝加燐安S131, ホクレン肥料(株)) を全層施肥した。加えて、上記の方法を用いて過リン酸石灰を播種条の下方2~4cm, 幅4~5cmに施肥した。なお、北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点においても全層への肥料散布後は、ロータリー耕を行うことによって0~20cmの層を攪拌した。北海道農業研究センターにおける播種はクリーンシーダAPS-40Cを用いて、春播きのために融雪後の2016年4月7日、芽室研究拠点は2016年4月20日に行った。

2. 葉数調査の方法

展葉数の調査は、子葉を除き最初の本葉を第1葉として展開した葉数を計数した。全農営農・技術センター現地圃場の調査は、2015年11月16日を初回として4日から26日間ごと、各処理10株を選び調査した。なお、調査途中で枯死した株や抽苔した株が出たので最終的には6株から10株の平均値を用いた。北海道農業研究センターの調査は、2016年5月16日および6月14日、7月23日、芽室研究拠点の調査は、2016年5月16日、6月14日、7月23日、8月24日に10株を選び調査した。

3. 気温データ

全農営農・技術センター現地圃場における日平均気温および日最低気温、日最高気温は、アメダス(辻堂) のデータを利用した。また、北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点における日平均気温および日最低気温、日最高気温は、それぞれの敷地内設置された気象観測露場のデータを利用した。

4. 温度の算定方法と適合度の検討方法

三角法は、当日の最低気温から翌日の最低気温までを1日として2つの最低気温と最高気温を結ぶ2直線と発育限界である基準温度に囲まれた部分を求積することによって得られる値を用いる方法である (坂神・是永, 1981)。

この三角法を用いた積算温度の算出は、展葉の下限温度を示す基準温度をBrewster (2008) の報告に従い3.5°CもしくはLancasterら (1996) の報告に従い5.0°Cとして算出した有効温度を積算した (以下、三角法 (3.5°C), 三角法 (5.0°C) と表記). なお、発育限界の上限温度は設定しなかった. 平均気温法は、基準温度3.5°C (Brewster, 2008), 基準温度5.0°C (Lancasterら, 1996) および基準温度0°Cとしてそのアメダスまたは気象観測露場の日平均気温との差を積算した (以下、平均気温法 (3.5°C), 平均気温法 (5.0°C), 平均気温法 (0°C) と表記). 求めた回帰式の適合度は、それぞれの回帰式から推定した展葉数と実測値の間の決定係数 (R^2) を用いて検証した. なお、積算温度は、展葉数が概ね1.0であった調査初日 (全農営農・技術センター現地圃場11月16日もしくは11月20日, 北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点5月16日) を0.0°C・日として積算した. 回帰式を用いて求めた葉数の推定値と実測値との間の適合度は、決定係数および予測推定誤差であるRMSE (Lancasterら, 1996) により検証した. 推定のための回帰式の差の検定は、エクセル統計2015 for Windows (R) ((株)社会情報サービス) を用いて共分散分析により検定を行った.

結 果

1. 秋播き直播タマネギの葉数と日平均気温との関係

アメダス (辻堂) における日平均気温の推移は、短期的には平年値を大きく上回る日が出現したが、1月下旬を最低としてその後上昇する推移を示した (第1図). 1日当たりの展葉数は、12月から2月には1日当たり0.1枚以下であったが、気温の変化に伴い3月以降には最大0.2枚程度まで上昇した (第1図). しかし、1日当たりの展葉数は、肥大が始まったと推定される5月中旬以降には再び0.1枚以下に低下した (第1図). 日平均気温が5.0°C以下に低下した日は、播種日の10月8日から最後の調査日の5月25日までの間に7日、そのうち3.5°C以下に低下したのは2日のみであった (第1図).

積算温度と葉数との回帰式の決定係数は、0.968～0.988

の有意 ($p < 0.01$) な値を示した (第2図). 各回帰式の決定係数に及ぼす積算温度の算定方法の影響は、10月8日播種的全層施肥では展葉の基準温度を0°Cとした平均気温法 (0°C) の決定係数が0.968となり、三角法や平均気温法の0.981～0.988を下回った (第2図). なお、基準温度を5.0°Cとした三角法や平均気温法の決定係数は、3.5°Cとした場合よりもわずかに上回った. りん茎の肥大開始である播種後208日目の展葉数は14.9枚であったのに対して、三角法 (3.5°C) の推定値は14.0枚、三角法 (5.0°C) は14.4枚、平均気温法 (3.5°C) は13.5枚、平均気温法 (5.0°C) は14.0枚、平均気温法 (0°C) は13.4枚であった.

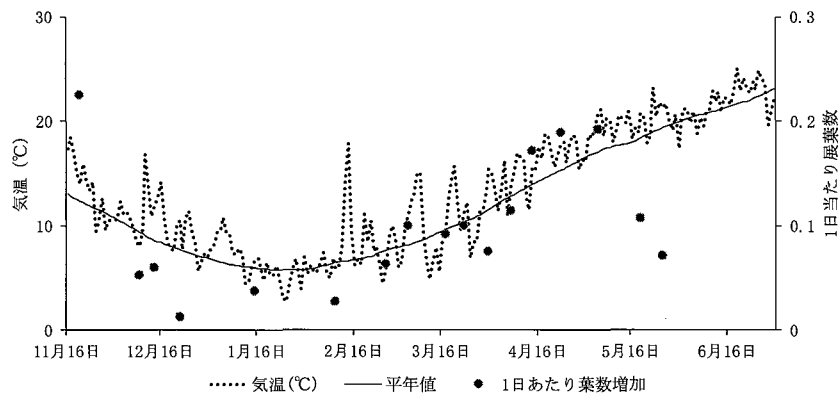
全層施肥と直下施肥の違いが回帰式の傾きと切片に及ぼす影響について共分散分析を用いて検討した結果、傾きと切片は、全層施肥と直下施肥の間に差が認められなかった (データ省略). 従って、実測値と全層施肥の場合における回帰式から推定した展葉数との間の決定係数および予測推定誤差であるRMSEを比較した (第1表). 展葉数の実測値と推定値との間の決定係数はいずれの回帰式でも0.965 ($p < 0.01$) 以上を示した.

2. 異なる播種日における秋播き直播タマネギの展葉数への回帰式の適用

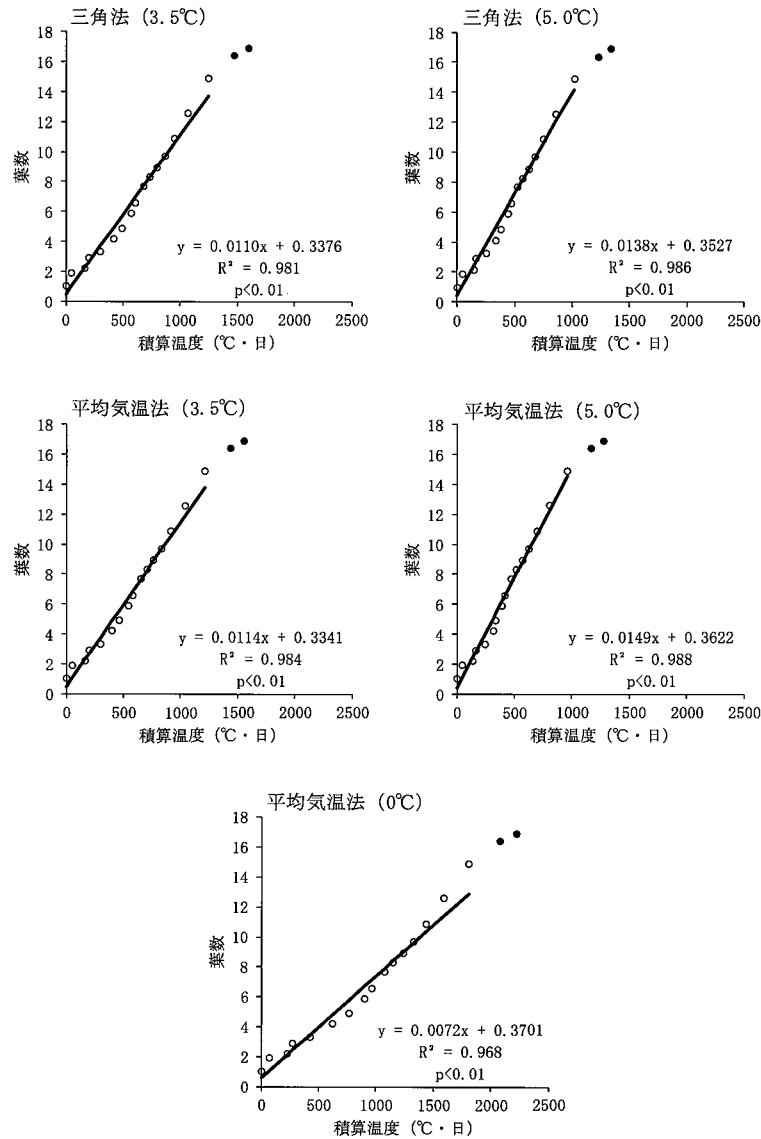
播種時期の違いが回帰式の適合度に及ぼす影響を検討した結果、全層施肥の10月15日播種における葉数の実測値と推定値との間の決定係数はいずれの回帰式でも平均気温法 (0°C) の値を上回った (第2表). RMSEは、平均気温法 (5.0°C) が最も小さかった. 直下施肥の10月15日および21日播種における葉数の実測値と推定値との間の決定係数はいずれの回帰式でも日平均気温法 (0°C) の値を上回った. RMSEは、10月15日および10月21日播種では平均気温法 (5.0°C) が最も小さかった.

3. 春播き直播タマネギの葉数への回帰式の適用

北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点の生育期間の日平均気温は、8月上旬に向けて上昇し、芽室研究拠点で日々の振幅が大きかった (第3図). 北海道農業研究センターでは、播種日の4月7日から最後の調査日7月23日までの間に日平均気温が5.0°C以下に低下した日は6日、



第1図 アメダス (辻堂) の日平均気温と平年値, 全農営農・技術センター現地圃場におけるタマネギの1日当たり展葉数



第2図 全層施肥における積算温度とタマネギの展葉数との関係
○は第1葉から肥大開始まで、●は肥大開始以降を示す
回帰式および決定係数の算出は第1葉から肥大開始までの値を用いた

第1表 積算温度算出方法の違いが直下施肥を行ったタマネギの葉数の実測値と予測値との間の決定係数およびRMSEに及ぼす影響

	10/8 直下施肥				
	三角法 (3.5°C)	三角法 (5.0°C)	平均気温法 (3.5°C)	平均気温法 (5.0°C)	平均気温法 (0°C)
決定係数 (R ²)	0.977	0.982	0.980	0.984	0.965
RMSE	0.150	0.131	0.141	0.128	0.183

そのうち3.5°C以下に低下したのは2日のみであった(第3図)。芽室研究拠点では、播種日の4月21日から最後の調査日の8月24日までの間に日平均気温が5.0°C以下に低

下した日は4日、そのうち3.5°C以下に低下したのは2日のみであった(第3図)。北海道農業研究センターでは、実測値と推定値との間の決定係数は、平均気温法(0°C)と比べて、三角法や平均気温法(3.5°Cおよび5.0°C)が上回り、三角法(5.0°C)と平均気温法(5.0°C)が大きかった(第3表)。一方、RMSEは、三角法(3.5°C)が最も小さかった。

芽室研究拠点では、実測値と推定値との間の決定係数は、日平均気温法(0°C)と比べて、三角法(3.5°C)や平均気温法(3.5°Cおよび5.0°C)が上回り、また、RMSEは三角法(3.5°C)が最も小さかった(第3表)。

考 察

青葉(1951)は、タマネギの摘葉による影響を調査し、

第2表 積算温度算出方法の違いが播種日の異なるタマネギの葉数の実測値と予測値との間の決定係数およびRMSEに及ぼす影響

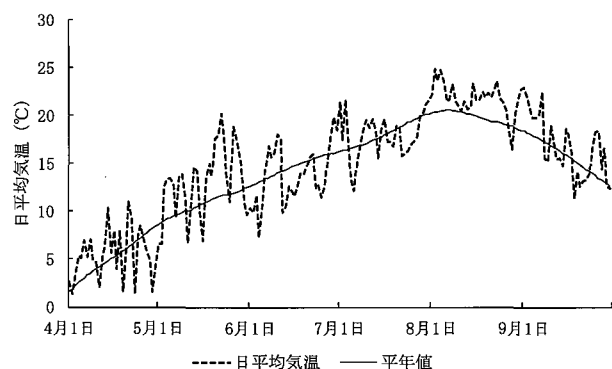
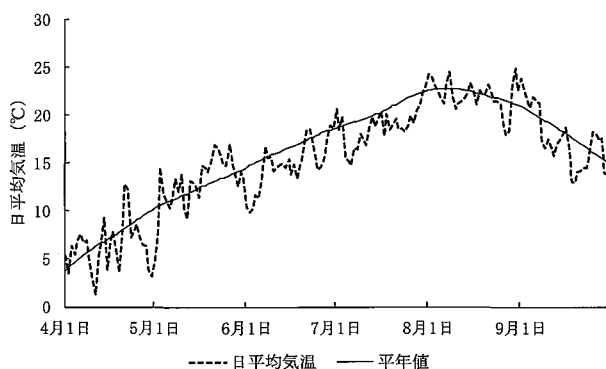
	10/15 全層施肥					10/15 直下施肥					10/21 直下施肥				
	三角法 (3.5°C)	三角法 (5.0°C)	平均 気温法 (3.5°C)	平均 気温法 (5.0°C)	平均 気温法 (0°C)	三角法 (3.5°C)	三角法 (5.0°C)	平均 気温法 (3.5°C)	平均 気温法 (5.0°C)	平均 気温法 (0°C)	三角法 (3.5°C)	三角法 (5.0°C)	平均 気温法 (3.5°C)	平均 気温法 (5.0°C)	平均 気温法 (0°C)
決定係数 (R ²)	0.978	0.986	0.982	0.990	0.961	0.972	0.980	0.976	0.984	0.956	0.964	0.974	0.968	0.980	0.942
RMSE	0.223	0.199	0.137	0.109	0.248	0.245	0.223	0.235	0.220	0.267	0.308	0.271	0.293	0.139	0.349

第3表 積算温度算出方法の違いが北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点におけるタマネギの葉数の実測値と予測値との間の決定係数およびRMSEに及ぼす影響

	北海道農業研究センター					芽室研究拠点				
	三角法 (3.5°C)	三角法 (5.0°C)	平均 気温法 (3.5°C)	平均 気温法 (5.0°C)	平均 気温法 (0°C)	三角法 (3.5°C)	三角法 (5.0°C)	平均 気温法 (3.5°C)	平均 気温法 (5.0°C)	平均 気温法 (0°C)
決定係数 (R ²)	0.998	0.999	0.998	0.999	0.996	0.998	0.997	0.998	0.998	0.997
RMSE	0.222	0.438	0.223	0.578	0.655	1.004	1.530	1.041	1.073	1.261

栄養成長期の展葉数とりん茎重との間には正の相関があることを明らかにした。また、Lancasterら(1996)は、りん片の肥厚が開始された後の葉数が肥厚開始までの生育期間の長さに伴い減少することを明らかにした。これらの報告は、りん茎の肥大開始までの生育が倒伏までの葉数に影響を及ぼすことを示唆している。また、倒伏までの葉数は、りん茎重との間に正の相関が認められることが明らかにされている(臼木・室, 2018)。これらは、葉数の多少がりん茎重に影響を及ぼすことを示し、葉数を推定することは、生育やりん茎重の良否を考えるうえで有効な指標となると考えられる。末貞ら(2018)は、タマネギの直播栽培において葉数と積算温度との間に有意な相関が認められたことから倒伏時に一定の葉数へ到達するための播種日の推定が積算温度を用いてできると考え、移植栽培と同じ展葉数を確保する播種日の推定を行った。しかし、末貞ら

(2018)の報告では出芽前の展葉が見られない時期も同じ回帰式で推定している。播種から出芽までに有効積算地温(基準温度1.4°C)は219°C・日であることが報告されている(Bierhuizen・Wagenvoort, 1974; Wagenvoort・Bierhuizen, 1977)。これらの報告の地温や積算温度は、葉数が積算温度に比例して直線的に増加するとされる3.5°Cから23.0°C(Brewster, 2008)の日平均気温や日々の積算温度とは異なると考えられる。そのため播種から出芽もしくは第1葉が展葉するまでと第1葉の展葉以降では異なる回帰式を適用すべきである。なお、末貞ら(2018)の回帰式では傾きが0.0071であるのに対して、本報告では用いた品種に違いがあるが、傾きが0.0072~0.0149のやや上向きの回帰式となった(第2図)。本報告において、いずれの積算温度の算出方法による回帰式を用いても決定係数は高く、第1葉以降の展葉数は基準温度を設定した積算温度に強く依存す



北海道農業研究センター

芽室研究拠点

第3図 北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点の気象観測露場の日平均気温と平年値

ると考えられた(第2図)。また、日平均気温が基準温度を下回る日が少ない栽培条件では、積算温度の算出方法の違いは小さいと考えられた。リン酸直下施肥を行った場合でも回帰式の傾きと切片は、全層施肥との間に差が認められなかった。なお、白木ら(2016)は、土壌の可給態リン酸含量が低い圃場でリン酸直下施肥を行う場合には出芽後の展葉が早まり、2~3葉期の葉数は、0.4~0.7枚多くなるが、本解析では葉数の差は、0~0.1枚しか生じていなかった。全層施肥のデータを用いて作成した回帰式によって推定した葉数と直下施肥を行った場合の葉数の実測値との間の決定係数は高く($p < 0.01$)、RMSEは、0.128~0.183と差がわずかであり、リン酸直下施肥は、出芽から第1葉までの展葉には影響があるが、第1葉からりん茎肥大までの生育期間中の展葉と積算温度との関係に影響を及ぼさないと考えられた。しかし、本解析では検討しなかった播種から第1~2葉までの期間について、土壌肥沃度やリン酸の直下施肥を用いた減肥栽培(白木ら, 2017)が播種から第1~2葉までの展葉と日平均気温との関係に及ぼす影響については、解析が必要であると考えられた。

全農営農・技術センター現地圃場における10月8日播種の全層施肥におけるデータから算出した回帰式を用い、10月15日播種のデータを入力して得られた推定値と実測値との間の決定係数を比較した。それらの決定係数は、展葉の基準温度を設定した回帰式では基準温度を 0°C とした平均気温法(0°C)を上回った(第2表)。また、RMSEは、三角法(5.0°C)が最も小さかった。全農営農・技術センター現地圃場とは作型が異なる北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点では、推定値と実測値との間に認められた決定係数は、いずれの回帰式でも0.996($p < 0.01$)以上を示した(第2表)。RMSEは、北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点では三角法(3.5°C)が最も小さかった。北海道農業研究センターと比べて芽室研究拠点のRMSEが大きい値を示したが、2016年は8月に相次いで4つの台風が北海道に上陸もしくは接近した(広田, 2017)。芽室研究拠点のRMSEは、タマネギが冠水の被害にあったことによって影響された可能性がある。以上のことから、推定精度は、秋播き直播栽培では播種日が異なる場合においても施肥方法に関わらず平均気温法(5.0°C)において決定係数が高く、RMSEも小さいことが示唆された。また、春播き直播栽培である北海道農業研究センターおよび芽室研究拠点では、平均気温法(5.0°C)において決定係数が高い(第3表)。芽室研究拠点ではRMSEが大きい傾向にあるが、播種日や作型の違いがあっても安定的に展葉数の推定精度が高い回帰式は、平均気温法(5.0°C)であると判断できた。

Lancasterら(1996)は、出芽から肥大までの間に基準温度 5.0°C とした積算温度 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 当たり1.02枚の葉が展開することを明らかにした。全層施肥における平均気温法(5.0°C)の回帰式の係数から算出した積算温度 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 当たりの展葉は、1.49枚であり、Lancasterら(1996)が示した値よりも大きい。さらに他品種や他地域での検討を必要とするが、タマネギ品種‘もみじ3号’は、概ね積算温度 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ (基準温度 5.0°C)当たり約1.5枚の展葉が認められると考えられた。本報告において、1日当たりの展葉数は、12月中旬~2月上旬の低温期には少なく、2月上旬以降に多くなった(第1図)。また、1日当たりの展葉数は、肥大が始まった5月以降には0.1枚以下に低下した(第1図)。本解析においては第1葉から肥大開始までの葉数について検討したが、今後は、播種から第1葉期までの展葉およびりん茎の肥大開始後の積算温度を用いた葉数推定を行うこと、ならびに生育期間を通じて展葉に影響すると考えられる土壌水分や日射量、土壌肥沃度、施肥方法などが回帰式に及ぼす影響について検討する必要がある。

10月8日播種の全層施肥では、りん茎の肥大開始である播種後208日目の展葉数が実測で14.9枚であったのに対して平均気温法(5.0°C)では14.0枚を示し、概ね葉数を推定できた。日平均気温の平年値を用い、求められる葉数に必要な積算温度を算出することで移植栽培と同等の葉数を確保できる播種日が推定可能となる。このように本報告で示した積算温度 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ (基準温度 5.0°C)当たり約1.5枚の展葉が認められる回帰式の利用は、多様な気象条件下や地域でタマネギの直播栽培する際に、播種期決定への活用の他、品種の早晚性の評価(室ら, 2017)や収量性の判断(白木・室, 2018)への利用が期待できる。Brewsterら(1977)は、タマネギの秋播き栽培で越冬時の植物体の大きさが抽苔や越冬率に影響を及ぼすことを明らかにしている。山崎・田中(2005)は、同じ*Allium*属のネギの花芽分化が可能な生育量の指標として葉数もしくは分化葉数を用いることが適切であるとしている。これらの報告のように花芽分化を回避しつつ生産を成立させる生育量が存在すると考えられる。緑植物春化型のタマネギやネギの栄養成長から生殖成長への生育相転換の生育量の指標としては、葉鞘径(安藤ら, 2002; 本間ら, 1999; 白岩ら, 2005; 宍戸・斉藤, 1976)や葉齢(Brewster, 1985; 伊藤, 1956a, b)の報告がある。タマネギにおいても、花芽分化に必要な生育量に相当する葉数を明らかにしたうえで、当該葉数に到達する期間を積算温度から推定することにより、抽苔を避けるための播種日が算定可能となる可能性がある。

摘 要

タマネギの葉数は、りん茎重の大きさに関わり、収量を構成する重要な要素である。そこで、タマネギの葉数を積算温度から推定することを目的として、三角法などの積算温度の計算方法を比較した。さらに、播種日や作型の違いおよびリン酸の全層施肥と直下施肥の条件下において回帰式の適合度を検証した。その結果、基準温度を 3.5°C もし

くは5.0°Cとした三角法や平均気温法を用いた場合の推定精度は、基準温度を0°Cとした日平均気温の積算値を用いた場合を上回った。基準温度を設定した場合、決定係数は、基準温度3.5°Cとした場合より5.0°Cとした回帰式で高かった。従って基準温度を5.0°Cとした平均気温法と三角法の回帰式は決定係数が高く、RMSEも小さいことが明らかとなった。また、作型を異にする場合には、基準温度を5.0°Cとした平均気温法の精度が高かった。以上のことから播種日や作型を異にしても安定的に推定精度が高い回帰式は、基準温度を5.0°Cとした平均気温法であると判断できた。さらに他品種や他地域での検討を必要とするが、タマネギは、回帰式の係数により基準温度5.0°Cとした積算温度100°C・日当たりに約1.5枚の展葉が認められることが示唆された。

謝辞 岩手県農業研究センター横田啓博士には、三角法の算出方法について適切な助言を与えていただきました。農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター細野達夫博士には、基準積算温度の算出方法、および、適切な助言を与えていただきました。記して御礼申し上げます。

引用文献

- 安藤利夫・甲田暢男・大越一雄. 2002. 初夏どりネギ栽培における晩抽性品種の花芽分化, 抽苔特性. 千葉農総研研報. 1: 13-23.
- 青葉 高. 1951. 玉葱の葉数及び摘葉と球重との関係. 山形県立農林専門学校研究報告. 4: 27-34.
- 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). 17: 1-363.
- Bierhuizen, J. F. and W. A. Wagenvoort. 1974. Some aspects of seed germination in vegetables. 1. The determination and application of heat sums and minimum temperature for germination. *Sci. Hortic.* 2: 213-219.
- Brewster, J. L. 1985. The influence of seedling size and carbohydrate status and of photon flux density during vernalization on inflorescence initiation in onion (*Allium cepa* L.). *Ann. Bot.* 55: 403-414.
- Brewster, J. L. 2008. Onion production. p. 252-256. In: Brewster, J. L. (ed), *Crop production science on horticulture*. Vol. 15. Onions and other vegetable alliums, 2nd edition. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Brewster, J. L., P. J. Salter and R. J. Darby. 1977. Analysis of the growth and yield of overwintered onions. *J. Hort. Sci.* 52: 335-346.
- 広田知良. 2017. 2016年の北海道における台風による農業被害. 農業および園芸. 92: 804.
- 本間利光・江村 学・船越昭夫. 1999. 新潟県における秋まきねぎの花芽分化と抽苔について. 新潟農総研報. 1: 13-23.
- 伊藤 潔. 1956a. 玉葱の抽苔に関する研究(第1報) 分球と花芽分化の関連性について. 園学雑. 25: 187-193.
- 伊藤 潔. 1956b. 玉葱の抽苔に関する研究(第2報) 花芽分化温度について. 園学雑. 25: 243-246.
- Lancaster, J. E., C. M. Triggs, J. M. De Ruiter and P. W. Gandar. 1996. Bulbing in onions: Photoperiod and temperature requirements and prediction of bulb size and maturity. *Ann. Bot.* 78: 423-430.
- 室 崇人・臼木一英・嘉見大助・杉山慶太. 2017. タマネギ品種における早晩性と展葉数の関係. 園学研. 16(別1): 147.
- 大沼 康・佐々木丈夫. 1993. 露地野菜の三角法による生育予測. 東北農研. 46: 283-284.
- 坂神泰輔・是永龍二. 1981. 有効積算温度の簡易な新算出法“三角法”について. 応動昆. 25: 52-54.
- 白岩裕隆・鹿島美彦・井上 浩・坂井章浩・田辺賢二. 2005. 初夏どりネギ栽培における花芽分化時期の液肥が植物体の窒素レベル, 抽苔および収量に及ぼす影響. 園学研. 4: 411-415.
- 宍戸良洋・斎藤 隆. 1976. タマネギの花芽形成に関する研究(第2報) 花芽形成における低温感応に対する苗の性状の影響. 園学雑. 45: 160-167.
- 末貞辰朗・臼木一英・室 崇人・東野裕広・川城英夫・森田直彦・森永靖武. 2018. 播種時期とリン酸の播種条下への局所施肥が温暖地の秋播きタマネギ直播栽培の収量性に及ぼす影響. 園学研. 17: 49-54.
- 臼木一英・室 崇人. 2018. リン酸直下施肥と組み合わせた窒素・カリウム肥料の施用時期が春播き直播タマネギの生育・収量に及ぼす影響. 園学研. 17: 405-413.
- 臼木一英・室 崇人・辻 博之・竹中 眞. 2016. 黒ボク土圃場のタマネギ (*Allium cepa* L.) 直播栽培における種子直下のリン酸局所施用がリン酸吸収および初期生育・収量に及ぼす影響. 園学研. 15: 241-246.
- 臼木一英・室 崇人・辻 博之・竹中 眞. 2017. 火山灰土壌での「播種条下局所施用」によるタマネギ直播栽培におけるリン酸肥料減肥法. 土肥誌. 88: 42-47.
- Wagenvoort, W. A. and J. F. Bierhuizen. 1977. Some aspects of seed germination in vegetables. II. The effect of temperature fluctuation, depth of sowing, seed size and cultivar, on heat sum and minimum temperature for germination. *Sci. Hortic.* 6: 259-270.
- Watanabe, N. 1978. An improved method for computing heat accumulation from daily maximum and minimum temperatures. *Appl. Entomol. Zool.* 13: 44-46.
- 山崎 篤・田中和夫. 2005. ネギの抽だい及ぼす窒素の影響. 園学研. 4: 51-54.
- 山崎 篤・山本岳彦・松尾健太郎. 2015. 春まきタマネギにおける葉の構成について. 東北農研. 68: 123-124.