タマネギ 95 品種から取得した形質データに基づく多変量解析

塚崎 光*・奥 聡史・本城正憲・山崎 篤^a・室 崇人

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター
020-0198 岩手県盛岡市下厨川字赤平

Multivariate Analysis Based on Agronomic Traits of 95 Bulb Onion (*Allium cepa* L.) Cultivars

Hikaru Tsukazaki*, Satoshi Oku, Masanori Honjo, Atsushi Yamasaki^a and Takato Muro

Tohoku Agricultural Research Center, National Agriculture and Food Research Organization (NARO),
Shimo-kuriyagawa akahira, Morioka, Iwate 020-0198

Abstract

Annual production of bulb onion (*Allium cepa* L.) is the third largest among vegetables in Japan. In Japan, bulb onion cultivars are mainly divided into two groups: spring-sowing (late-maturing) and autumn-sowing (early-maturing) cultivars. The cultivars belonging to these groups have been difficult to compare regarding their morphological traits under the same cultivation conditions, but now we can evaluate their traits under newly developed spring-sowing cultivation in the Tohoku region. We extracted a total of 50 traits using 95 domestic and foreign cultivars/genetic resources through two trials each of spring-sown and autumn-sown cultivation. Because most of the trait data obtained from the spring-sown trial were correlated with those from the autumn-sown trial, the spring-sown cultivation is considered effective for reproducible evaluation of cultivar traits, especially in cases of severe conditions during winter due to climate instabilities such as heavy snow (freezing) and a warm winter. Principal component analysis of 30 traits revealed a 51.3% cumulative contribution of the primary and secondary components, with the former determining earliness and latter determining bulb traits. A scatter diagram of the primary and secondary components indicated some specific clusters according to conventional cultivar classification. The principal component and cluster analyses obtained from our data representing each cultivar group may be useful as references for objective evaluation of the characteristics of bulb onion cultivars.

Key Words : earliness, principal component analysis, scatter diagram, spring-sowing

キーワード : 春まき栽培, 散布図, 主成分分析, 早晩性

緒 言

ネギ属 (*Allium*) 作物で代表的なタマネギ (*A. cepa* L.) は、世界的に需要が高く、国内生産量第3位 (102 万 t) の重要な野菜である (農林水産省, 2019)。タマネギのりん茎は葉鞘基部が肥大した部位であり、肥大には日長 (長日条件) と温度が関与していることが知られている。品種 (群) によって肥大の引き金となる日長時間が異なるが (阿部ら, 1955; Bosch Serra・Currah, 2002), これは、タマネギが世界中で栽培される過程において、各地の環境条件に適応して肥大する個体が選抜され、品種 (群) として成立したことの反映と考えられる。我が国には、明治時代に北海道と本州に複数の品種が導入され、それらが基となり北海道向けの春まき (晩生) 品種と本州・西南暖地向けの秋ま

き (早生) 品種に分化した (阿部ら, 1955)。これらの品種群は特性が大きく異なり、晩生品種を秋まき栽培すると不時抽苔が多発し、また早生品種を春まき栽培すると十分に成長する前に肥大を開始し小球になるため、いずれの作型においてもこれら品種群を比較することは困難であった。このため、国内外を含めて、幅広い品種群を同一作型で比較栽培した例はほとんどない (Bosch Serra・Currah, 2002; Ikeda ら, 2019, 2020; 奥ら, 2018)。

タマネギは、北海道 (64.6 万 t)、佐賀 (10.6 万 t)、兵庫 (9.6 万 t) の3道県で我が国の生産量の8割を超えることから (農林水産省, 2019)、他の野菜と比べて栽培地域の局在化が顕著である。これら主産地間の供給切り替え時期となる7、8月は供給が不安定となり、この時期を中心に年間約30万tが海外から輸入されている (財務省貿易統計, 2019)。さらに、台風などの気象災害やべと病など病害に伴う減収により主要産地の生産量が変動すると、需給ギャップが生じ輸入量が増大する。一方で、水田転換畑で生産する品目としてタマネギが注目されており、富山県など新たな産地が生まれつつある (戸田, 2015)。

2020年2月3日 受付. 2020年6月11日 受理.
本報告の一部は園芸学会平成30年度秋季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: tsuka@affrc.go.jp

^a 現在: 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター

これまで、東北・北陸地域などの寒冷地では、冬季の積雪や圃場凍結による越冬率の低下や不時抽苔によって、慣行の秋まき栽培の生産性が不安定であり、収量水準は全国平均の半分程度の収量（2t/10a）であった（農研機構，2016）。これらの地域においてタマネギの生産性を改善するため、山崎ら（2013）は北海道の春まき栽培を参考に、東北・北陸地域の気象条件に適応した新たな春まき作型を開発した。この作型は、従来の秋まき栽培と比べ、在圃期間が3か月程度と短く生産不安定の要因である低温期を経ないため、生産が安定し平均収量水準が向上する。加えて、国産タマネギの端境期である7、8月に出荷可能となる優位性もあり、東北地方で急速に作付けが広がっている。また、この作型の特徴として、秋まきの早生品種から春まきの晩生品種まで、幅広い品種の栽培が可能であることが挙げられる。実際に、奥ら（2018）は、青森県で7月中旬から8月上旬に収穫できる品種を明らかにした。さらに、秋まき品種と春まき品種を同時に栽培して特性比較を行うことができれば、コムギで設定されている「播性程度」や、秋まきと春まきを統合した早晩性のような指標を、日本のタマネギ品種についても設定できる可能性がある。

このように、新たな産地として有望な東北地域では、従来の作型の枠を超えた幅広い品種（群）の適応が期待されるが、その基礎となる東北地域における品種・系統の特性データは得られていない。そこで本研究では、東北地域のタマネギ栽培に適応する品種に関する基礎的なデータを得るため、海外の品種を含めた遺伝的に多様な品種・系統を用いた春まき・秋まき栽培により各形質データを取得するとともに、多変量解析を行い各形質における品種群の特徴を見出し、品種・系統の再分類を試みた。

材料および方法

国内外の遺伝資源を含むタマネギ95品種・系統を供試した（第1表）。これらのうちNo_001～084は、農業生物資源ジーンバンクから分譲いただいたものであり、品種・系統名ならびに来歴情報から、秋まき用極早生品種から春まき用晩生品種まで含まれていると考えられる。また、No_085～095は、塚崎ら（2015）の予備試験に用いた秋まきおよび春まき品種であり、本研究において対照品種として用いた。

各作型について2回の春まき（2月中旬播種，4月中旬定植）および秋まき（8月下旬播種，10月下旬定植）栽培を行った（第2表）。いずれも培土には緩効性肥料（マイクログントータル280-100，ジェイカムアグリ（株））を重量比で2%混入したセル成型苗専用培土（野菜養土K-200，ヤンマーホールディングス（株））を用い、288穴セルトレイに播種して無加温ハウスで育苗した。育苗後、各品種40株ずつ、国立研究開発法人農業・食品産業総合研究機構東北農業研究センター（以下、農研機構東北農研）の黒ボク土圃場（北緯39度45分，東経141度8分）に、

うね幅160cmの4条植え，条間は24cm，株間は12cm（栽植密度20,800株/10a）となるように定植した。

施肥量は $N:P_2O_5:K_2O=15:30:15\text{ kg}/10\text{ a}$ とし，春まき栽培では追肥は行わなかった。秋まき栽培では，消雪後の4月上旬と下旬の2回，やさい専用CDUたまご化成S555（全国農業協同組合連合会）を，それぞれの時期に $N:P_2O_5:K_2O=0.45:0.45:0.45\text{ kg}/10\text{ a}$ となるように追肥した。

各栽培試験で調査した形質を第3表に示す。各試験について，過半数が倒伏してから7日後に収穫し，平均的な10個体を用いて草丈を測定後，調製乾燥した。1～2か月後に，平均的な10個体を用いて，りん茎形質（りん茎長，りん茎径，りん茎高径比，りん茎重，芯数，乾物率）を測定した。また，この中の任意の4個体については，内部成分（Brix糖度，ビルビン酸含量，ケルセチン含量）を測定した。さらに，春まき栽培では出葉数（倒伏までの総出葉数）を，秋まき栽培では越冬率（消雪後の生存株数/定植株数 $\times 100$ ）および抽苔率（抽苔株数/消雪後の生存株数 $\times 100$ ）を調査した。なお，春まき栽培では2017Sのみで貫入応力値を，秋まき栽培では，2016Aのみで貫入応力値，乾物率，Brix糖度，ビルビン酸含量，ケルセチン含量を測定した。栽培期間中の気象データは，農研機構東北農研Web气象台から取得した。

Brix糖度およびビルビン酸含量には，生のりん茎サンプルの抽出液を用いた。多検体細胞破碎装置（シェイクマスターオート，（株）バイオメディカルサイエンス）により，りん茎組織を破碎し，遠心後の上清を各分析に供試した。Brix糖度はデジタル糖度計（IPR-101，アズワン（株））を用いて測定し，ビルビン酸含量はYooら（1995）に従い，プレートリーダー（Thermo Scientific Multiskan FC，サーモフィッシャーサイエンティフィック（株））を用いて420nmの吸光度を測定することにより算出した。また，ケルセチン含量は，りん茎の凍結乾燥サンプルを用いて，室ら（2015）に従い360nmの吸光度を測定することにより算出した。

各形質の年次間あるいは作型間の相関（決定係数； R^2 値）を算出するとともに，統計解析ソフト（JMP v. 12.0，SAS Institute Japan（株））を用いて主成分分析およびクラスター分析を行った。

結果および考察

1. 年次間相関

春まき栽培の収穫日は，2016Sでは7月6日から9月1日（57日），2017Sでは7月18日から8月28日（41日）にわたった。秋まき栽培の収穫日は，6月末から8月上旬までの35日前後であった（第2表）。

各栽培試験期間中の有効積算温度の推移を第1図に示す。春まき栽培では，2か年とも同様な傾向であったが，秋まき栽培においては2015Aと2016Aとで定植日が8日

Table 1. Plant materials used in this study.

ID	JP No.	Name	Origin	Group ^z	Group ^y	ID	JP No.	Name	Origin	Group	Group
No_001	25368	AICHI GOKUWASE SHIRO	Japan (Aichi)	1	I	No_049	37675	46 F	Japan (Hokkaido)	3	III
No_002	25369	GIFU KI-1	Japan (Gifu)	2	II	No_050	37677	U 4284-24	Japan (Hokkaido)	3	III
No_003	25370	KISHUU HIRAGATA KI	Japan (Wakayama)	2	II	No_051	37678	SAPPOROKI KITAMIKEI	Japan (Hokkaido)	3	III
No_004	25371	GIFU RED-1	Japan (Gifu)	2	II	No_052	37679	SAPPOROKI TAKENAKA KEI	Japan (Hokkaido)	3	III
No_005	25372	KOUDAKA AICHI WASE KI	Japan (Aichi)	1	II	No_053	37680	SAPPOROKI SIMIZU KEI	Japan (Hokkaido)	3	III
No_006	25373	GOKUWASE OWARI KI	Japan (Aichi)	1	I	No_054	37682	SAPPOROKI IN KEI	Japan (Hokkaido)	3	III
No_007	25374	CHUU HIRAGATA SENSUU KI	Japan (Osaka)	2	II	No_055	37683	SAPPOROKI KAMITOKORO KEI	Japan (Hokkaido)	3	III
No_008	25375	SENSUU KOU DAKA	Japan (Osaka)	2	II	No_056	37684	SAPPOROKI KITABAYASHI KEI	Japan (Hokkaido)	3	III
No_009	25376	SHOUNAN RED	Japan (Kanagawa)	2	II	No_057	37685	SAPPOROKI MIYAMOTO KEI	Japan (Hokkaido)	3	II
No_010	25377	SAPPOROKI	Japan (Hokkaido)	3	III	No_058	37686	SAPPOROKI TAKAHATA KEI	Japan (Hokkaido)	3	III
No_011	25378	TOUKYOU RED	Japan (Tokyo)	2	II	No_059	37687	SAPPOROKI YAMAMOTO KEI	Japan (Hokkaido)	3	III
No_012	25379	HEIAN KYUKEI KEI	Japan (Kyoto)	2	II	No_060	37688	SAPPOROKI IWANAMI KEI	Japan (Hokkaido)	3	III
No_013	25380	HEIAN WASE FUCHUUDAI KI	Japan (Kyoto)	1	II	No_061	37689	SOUTHPORT WHITE GLOBE	USA	4	IV
No_014	25381	SENSUU CHUUKOU KI	Japan (Osaka)	2	II	No_062	37690	BRIGHAM YELLOW GLOBE	USA	4	IV
No_015	25382	SAITOU 10 KI	Japan (Hyogo)	2	II	No_063	37691	DOWNING YELLOW GLOBE	USA	4	IV
No_016	25383	AWAJI CHUUKOU KI	Japan (Hyogo)	2	II	No_064	37692	AUSTRALIAN BROWN 100	USA	4	IV
No_017	25386	YOSHIMI KI	Japan	2	II	No_065	37693	OREGON DANVERS YELLOW GLOBE	USA	4	III
No_018	25387	AWAJI CHUUKOU DAKA KI	Japan (Hyogo)	2	II	No_066	37694	RINGMASTER PRR	USA	4	IV
No_019	25388	SHIN KAIZUKA WASE KI	Japan (Hyogo)	1	I	No_067	37695	EBENEZER YELLOW	USA	4	IV
No_020	25390	65 R 1	Japan	2	II	No_068	37696	WHITE EBENEZER	USA	4	IV
No_021	25391	SAPPOROKI HATANO KEI	Japan (Hokkaido)	3	III	No_069	37697	PUKEKOHE LONG KEEPER ULTRA STR	NZ	4	IV
No_022	25392	SAPPOROKI KUOKAWA KEI	Japan (Hokkaido)	3	III	No_070	209802	RAW'SKA	Poland	4	IV
No_023	25393	SAPPOROKI KOTANI KEI	Japan (Hokkaido)	3	III	No_071	209803	ZYTAW'SKA 423/86	Poland	4	IV
No_024	25394	KITAMI KI-1	Japan (Hokkaido)	3	III	No_072	209805	ZYTAW'SKA 425/86	Poland	4	IV
No_025	25395	KITAMI KI-2	Japan (Hokkaido)	3	III	No_073	209806	SZCZEBRZESZYNSKA 428/86	Poland	4	IV
No_026	25396	KEITOKUCHUUKOU DAKA KI	Japan (Fukushima)	2	II	No_074	209807	ZYTAW'SKA	Poland	4	IV
No_027	25398	NINOMIYA MARU	Japan (Kanagawa)	2	II	No_075	209808	LUBARTOWSKA 431/86	Poland	4	IV
No_028	25399	SHOUNAN RED	Japan (Kanagawa)	2	II	No_076	209809	NO 2/88	Russia	4	IV
No_029	25400	GIFU KI-2	Japan (Gifu)	2	II	No_077	209810	NO 6/88	Russia	4	IV
No_030	25401	DEMURA WASE	Japan (Osaka)	2	II	No_078	209811	NO 9/88	Russia	4	IV
No_031	25402	AWAJI CHUUKOU KI 1	Japan (Osaka)	1	I	No_079	209812	NO 8/88	Russia	4	IV
No_032	25403	AWAJI CHUUKOU KI 2	Japan (Hyogo)	2	II	No_080	209813	HANKA	Czech	4	IV
No_033	25404	KYOUTO WASE KOSHIDAKA	Japan (Kyoto)	2	II	No_081	209814	A 007	Russia	4	IV
No_034	25405	IMAI WASE	Japan (Osaka)	1	I	No_082	209815	LINE 162/4	Russia	4	IV
No_035	25406	SENSUU CHUUDAKA KI	Japan (Kagawa)	2	II	No_083	209819	ODINCOWIEC	Russia	4	IV
No_036	25408	CHOU GOKUWASE KI	Japan (Kagawa)	2	II	No_084	219389	INT/RUS/2001/ASHIZAWA	Russia	4	II
No_037	25409	YAMAGUCHI KOU DAKA	Japan (Yamaguchi)	1	I	No_085	—	TURBO	Japan	2	II
No_038	25411	KITAMI KI-3	Japan (Hokkaido)	2	II	No_086	—	NEO EARTH	Japan	2	II
No_039	37664	GETSURIN	Japan (Hokkaido)	3	III	No_087	—	YELLOW DROP	Japan	2	II
No_040	37665	SORACHI KI	Japan (Hokkaido)	3	III	No_088	—	MOMIJI NO. 3	Japan	2	II
No_041	37666	FURANUI	Japan (Hokkaido)	3	III	No_089	—	MARSO	Japan	3	II
No_042	37667	F 316	Japan (Hokkaido)	3	III	No_090	—	QUERU TAMA	Japan	2	II
No_043	37668	U 4117	Japan (Hokkaido)	3	III	No_091	—	OKHOTSK 222	Japan	3	III
No_044	37669	F 8237	Japan (Hokkaido)	3	III	No_092	—	POLE STAR	Japan	3	II
No_045	37671	FM 8128	Japan (Hokkaido)	3	III	No_093	—	KITAMOMIJI 2000	Japan	3	III
No_046	37672	B 5 F	Japan (Hokkaido)	3	III	No_094	—	SUPER KITAMOMIJI	Japan	3	III
No_047	37673	75 F	Japan (Hokkaido)	3	III	No_095	—	KAROEWAN	Japan	3	III

^z Cultivars were categorized as: 1. autumn seeding (early bearing) cultivar, 2. autumn seeding (mid-late bearing) cultivar, 3. spring seeding cultivar and 4. foreign cultivars. Group 1 to 3 are classified by cultivar name and its origin.

^y Cultivars were re-categorized as I, II, III, and IV according to 30 traits (see Fig. 5).

Table 2. Overview of each trial in this study.

Trial	Sowing date	Trasnplanting date	Deep snow	Harvest time		Effective cumulative temperature (°C)	Precipitation (mm)	
			Start – End	Start – End	Average		total	After snow thaw
Spring-sown								
2016S	Feb 16, 2016	Apr 15	–	Jul 6 – Sep 1	Aug 13	2624	693	–
2017S	Feb 13, 2017	Apr 20	–	Jul 18 – Aug 28	Aug 6	2444	836	–
Autumn-sown								
2015A	Aug 25, 2015	Oct 20	Dec 26 – Mar 6	Jun 29 – Aug 5	Jul 5	1816	910	545
2016A	Aug 30, 2016	Oct 28	Jan 9 – Mar 18	Jun 29 – Aug 1	Jul 23	2089	960	708

Table 3. List of traits investigated in this study.

2016S	2017S	2015A	2016A
1 Date to harvest	15 Date to harvest	30 Overwinter (%)	37 Overwinter (%)
2 Total leaf number	16 Total leaf number	31 Bolting (%)	38 Bolting (%)
3 Plant height	17 Plant height	32 Date to harvest	39 Date to harvest
4 Bulb height (BH)	18 Bulb height (BH)	33 Bulb height (BH)	40 Plant height
5 Bulb diameter (BD)	19 Bulb diameter (BD)	34 Bulb diameter (BD)	41 Bulb height (BH)
6 BH/BD ratio	20 BH/BD ratio	35 BH/BD ratio	42 Bulb diameter (BD)
7 Bulb weight	21 Bulb weight	36 Bulb weight	43 BH/BD ratio
8 No. of scales	22 No. of scales		44 Bulb weight
9 No. of centers	23 No. of centers		45 Penetration stress value (N)
10 Dry matter (%)	24 Penetration stress value (N)		46 Dry matter (%)
11 Brix (%)	25 Dry matter (%)		47 Brix (%)
12 Pyruvate content	26 Brix (%)		48 Pyruvate content
13 Quercetin content (100 g ⁻¹ FW)	27 Pyruvate content		49 Quercetin content (100 g ⁻¹ FW)
14 Quercetin content (g ⁻¹ DW)	28 Quercetin content (100 g ⁻¹ FW)		50 Quercetin content (g ⁻¹ DW)
	29 Quercetin content (g ⁻¹ DW)

Fig. 1. Effective cumulative temperature (daily average temperature $\geq 5^{\circ}\text{C}$) of each trial.

The fields were covered with deep snow from December 26 to March 6 in 2015A and January 9 to March 18 in 2016A.

異なった上、越冬前までの積算気温が2015Aは平年値より55.9°C高く、2016Aは48.7°C低かった(第1図)。また、秋まき栽培において、2015Aでは、2015年11月4日から2016年3月6日まで降雪があり、このうち2015年12月26

日から2016年3月6日までは根雪期間(最深積雪41cm)であった。2016Aでは、2016年12月15日から2017年3月21日まで降雪があり、このうち2017年1月9日から3月18日までが根雪期間(最深積雪37cm)であった。

同一作型間の年次間比較の結果、春まき栽培では、ビルビン酸含量を除くすべての形質において0.1%水準で有意であった。特に、出葉数(0.929)、りん茎高(0.896)、収穫まで日数(0.874)および乾物率(0.860)で高い相関を示した(第4表、第2図(a)~(c))。一方、秋まき栽培においては、越冬率では1%水準で有意となったが他の全形質においては0.1%水準で有意であり、特に、抽苔率(0.916)および収穫まで日数(0.810)で高い相関を示したが、各形質間の相関は春まき栽培より低下する傾向にあった(第5表、第2図(d)~(f))。2016Aは、2015Aと比べて越冬前の気温が低く降水量が1.3倍であった。また、2016Aは越冬前の積算気温が182°C低く、越冬前の生育に関して、出葉数で1枚程度の差があったと推察された(データなし)。このことから、秋まき栽培は春まき栽培より栽培期間が長く、気象条件の影響を受けやすいことが年次相関の低下に関係していると考えられた。

Table 4. Year-to-year correlation between 2016S and 2017S.

Traits	Correlation coefficient ^z
Date to harvest	0.874 ***
Total leaf number	0.929 ***
Plant height	0.551 ***
Bulb height (BH)	0.896 ***
Bulb diameter (BD)	0.609 ***
BH/BD ratio	0.732 ***
Bulb weight	0.673 ***
No. of scales	0.454 ***
No. of centers	0.620 ***
Dry matter (%)	0.860 ***
Brix (%)	0.730 ***
Pyruvate content	0.090
Quercetin content (100 g ⁻¹ FW)	0.528 ***
Quercetin content (g ⁻¹ DW)	0.411 ***
Penetration stress value (N)	— ^y

^z Significance at 0.1% level shown with ***.^y Not evaluated at 2016S.**Table 5.** Year-to-year correlation between 2015A and 2016A.

Traits	Correlation coefficient ^z
Overwinter (%)	0.279 **
Bolting (%)	0.916 ***
Date to harvest	0.810 ***
Bulb height (BH)	0.640 ***
Bulb diameter (BD)	0.447 ***
BH/BD ratio	0.785 ***
Bulb weight	0.590 ***
Plant height	— ^y
Penetration stress value (N)	—
Dry matter (%)	—
Brix (%)	—
Pyruvate content	—
Quercetin content (100 g ⁻¹ FW)	—
Quercetin content (g ⁻¹ DW)	—

^z Significance at 1 and 0.1% level shown with ** and ***, respectively.^y Not evaluated at trial 2016S. **Fig. 2.** Year-to-year correlation between each cultivation.

These scatter plots were obtained from data between 2016S and 2017S ((a)–(c)) and 2015A and 2016A ((d)–(f)). Scatter plots represent: bulb height (a) and (d), bulb diameter (b) and (e), pyruvate content (c), and bolting % (f).

2. 作型間比較

春まき栽培と秋まき栽培による各形質の相関は、いくつかの形質を除いて0.1%水準で有意となった。収穫まで日数 (0.901) およびりん茎高径比 (0.859) は高い相関を示したが、りん茎径 (0.481) およびりん茎重 (0.411) では相関係数値がやや低くなり、ピルビン酸含量および草丈では相関が認められなかった (第6表, 第3図)。貫入応力値については、各作型1回のデータであったことから、相関係数 (0.249) は低かった。

従来の分類では秋まき中晩生品種とされる品種・系統と、春まき早生品種とされる品種・系統の間で、早晩性の指標となる収穫まで日数に明確な違いはなかった。また、同一作型で栽培した場合でも、どちらの品種群においても収穫まで日数の相関が高かったことから、従来の秋まき品種、春まき品種のそれぞれで早晩性を区別するのではなく、秋まき品種、春まき品種をまとめて早晩性の指標 (早生—中生—晩生) を設定できる可能性が考えられた。Ikedaら (2020) は、日長に反応して発現し、りん茎の肥

Table 6. Correlation between spring-sown and autumn-sown cultivation^z.

Traits	Correlation coefficient ^y
Date to harvest	0.901 ***
Bulb height (BH)	0.593 ***
Bulb diameter (BD)	0.481 ***
BH/BD ratio	0.859 ***
Bulb weight	0.411 ***
Plant height ^x	0.058
Dry matter (%) ^x	0.741 ***
Brix (%) ^x	0.773 ***
Pyruvate content ^x	0.182
Quercetin content (100 g ⁻¹ FW) ^x	0.695 ***
Quercetin content (g ⁻¹ DW) ^x	0.792 ***
Penetration stress value (N) ^w	0.249 *

^z Average data from spring-sown (2016S and 2017S) and autumn-sown (2015A and 2016A) cultivation were used.

^y Significance at 5 and 0.1% level shown with * and ***, respectively.

^x Data from trial 2016A were used as autumn-sown cultivation.

^w Data from trials 2017S and 2016A were used as spring-sown and autumn-sown cultivation, respectively.

大を制御する AcFT 遺伝子の発現が、りん茎の肥大開始や品種の早晩性に関する指標として利用できる可能性を示唆している。今回の試験では用いなかったが、近年秋まき品種と春まき品種の中間型とみられる品種が育成されてきたことから、今後このような観点による早晩性分類の重要性は高まると考えられる。

りん茎径やりん茎重については、両作型における肥大時期が1か月程度異なることから、この時期の気温や降水量などの環境要因によって変動する可能性が示唆された。これに対して、早晩性の指標となる収穫まで日数やりん茎形の指標となるりん茎高径比は、作型に関わらず品種の特性を評価できる遺伝率の高い形質であると考えられた。一方、草丈に関しては、特に2016Aの晩生品種で、べと病の発生や高温による葉枯れが目立った。このため、栽培試験間での変動が高く、品種本来の特性を十分評価できな

かったために相関が低くなったと考えられた。

ピルビン酸含量と乾物率との相関係数は、2016Aでは0.1%水準で有意(0.493)となったが、春まき栽培ではいずれも相関は認められなかった(0.00 (2016S), -0.04 (2017S))。Pöhlら(2018, 2019)は、同一条件で直播タマネギとセットタマネギを栽培した場合、セットタマネギの方がピルビン酸含量が少なくなったと報告している。Bosch Serra・Currah(2002)は、肥大時期の環境要因によって辛味成分含量が変動すると報告している。Pöhlら(2019)では、セットタマネギの肥大開始が1週間早かったことから、セットタマネギは直播タマネギに比べて数週間早く倒伏(収穫)していたと考えられる。一方、本研究における、秋まき栽培の収穫期は、春まき栽培より2週間程度早かった。このことから、本研究における秋まき栽培と春まき栽培では肥大時期の環境条件が異なり、このことが辛味成分の副産物であるピルビン酸含量に影響を及ぼしたと考えられる。特に、春まき栽培ではその影響が大きく表れてピルビン酸含量の相関が低くなったのではないかと推察された。これまで、タマネギには遺伝的に辛味の強い品種と弱い品種が存在し、遺伝解析によって主要なQTLが検出されている(Galmariniら, 2001; McCallumら, 2007)。本研究では、辛味成分含量には主要な遺伝子の他に環境に影響されやすい遺伝子の存在が示唆された。ピルビン酸含量は、栽培条件によって変動しやすい形質であると考えられた一方、その他の内部成分に関わる形質については、比較的高い相関を示した(第6表)。このことから、Brixとケルセチン含量については、作型に関わらず、品種の特性を評価できる遺伝率の高い形質であると考えられた。また、ピルビン酸含量(辛味成分含量)については、遺伝的に辛味の強い品種と弱い品種が存在し、遺伝解析によって主要なQTLが検出されている(Galmariniら, 2001; McCallumら, 2007)ことから、辛味成分含量には主要な遺伝子の他に環境に影響されやすい遺伝子の存在が示唆された。

3. 主成分分析

各作型において2か年調査した21形質の平均値および、

Fig. 3. Correlation between spring-sown and autumn-sown cultivation.

These scatter plots were obtained from average data from spring-sown (2016S and 2017S) and autumn-sown (2015A and 2016A) cultivation. Each scatter plot represents the date to harvest (a), BH/BD ratio (b), and bulb weight (c).

2017S の貫入応力値, 2016A の7形質 (草丈, 貫入応力値, 乾物率, Brix 糖度, ピルビン酸含量, DW 当たりケルセチン含量, FW 当たりケルセチン含量) の合計30形質を用いて, 主成分分析を行った. その結果, 収穫まで日数や出葉数など, 主に生育の早晩に特徴付けられる第1主成分 (寄与率33.4%), りん茎径やりん茎重など, 主にりん茎の形質に特徴付けられる第2主成分 (寄与率18.0%) が見出された (第7表). これらの主成分スコアに基づいた散布図は, 品種群を概ね反映したが, 秋まき早生品種のうち, No.5 (甲高愛知早生黄), No.13 (平安早生不抽苔黄), No.35 (今井早生) の3品種は, 秋まき中生品種が集中する位置にプロットされた (第4図 (a)). この傾向は, 春まき栽培29形質, 秋まき栽培21形質, 形質特性38形質を用いた主成分分析でも同様であった (第4図 (b)~(d)).

春まき栽培29形質, 秋まき栽培21形質, 生育特性38形質を用いた主成分分析でも同様な結果となったが, 秋まき栽培21形質の場合では, 春まき品種群と海外導入品種群の位置が逆転する傾向にあった (第4図 (b)~(d)). 秋まき栽培形質を用いた主成分分析では, 春まき品種の多くが第4象限に位置付けられた (第4図 (c)). これは, 秋まき栽培では抽苔率が高く小球になりやすい, 春まき品種群の特徴を示したからと考えられた.

一方, 品質特性12形質 (Brix 糖度, ピルビン酸生産量, DW 当たりケルセチン含量, FW 当たりケルセチン含量) の4形質×3試験を用いた主成分分析では, 主にケルセチン含量による第1主成分 (寄与率42.4%) と Brix 糖度による第2主成分 (19.9%) が見出され, これらの主成分スコアに基づいた散布図は, 他の主成分分析の結果と異なるものであった (第4図 (e)). すなわち, 国内品種の多くは品種群に関わらず散布図の中央に位置付けられたのに対して, 海外導入品種は全体に分布した. このことから, 海外導入品種には特に内部成分に関して多様な特性を保有していることが示唆された.

30形質データに基づくクラスター分析の結果, 一部の品種・系統の例外はあるものの, 従来の品種分類を反映した, 4つのグループに再分類できた (第5図, 第1表). すなわち, 秋まき早生品種からなるグループI, 主に秋まき中生品種からなるグループII, 主に春まき品種からなるグループIII, 海外品種からなるグループIVであり, グループII, III, IVは, さらに2~3のサブグループに分類できる可能性が示唆された. 秋まき早生品種のうち, No.5 (甲高愛知早生黄), No.13 (平安早生不抽苔黄) No.35 (今井早生) の3品種は, 第4図と同様に秋まき中生品種が含まれるグループIIに再分類された. また, 今回用いた海外品種の多くは, 国内品種とは異なるグループIVに分類されたが, No.84 (INT/RUS/2001/ASHIZAWA) はグループIIに, No.65 (OREGON DANVERS YELLOW GLOBE) はグループIIIに再分類された. 春まき品種である「札幌黄」は, Yellow Globe Danvers に由来する (阿部ら, 1955)

Table 7. Eigenvectors of the first, second, and third main components calculated by principal component analysis of 30 traits^z.

	Main component		
	1st	2nd	3rd
Eigenvalue	9.678	5.209	4.077
Contribution rate	33.374	17.963	14.057
Cumulative contribution	33.374	51.337	65.395
Spring-sown			
Date to harvest	0.266	-0.008	0.155
Total leaf number	0.101	0.248	-0.190
Plant height	0.279	0.046	0.121
Bulb height (BH)	0.238	0.209	-0.178
Bulb diameter (BD)	0.034	0.392	0.053
BH/BD ratio	0.228	-0.012	-0.226
Bulb weight	0.124	0.359	-0.088
No. of scales	0.226	0.102	-0.226
No. of centers	-0.066	0.107	0.317
Dry matter (%)	0.212	-0.231	0.182
Brix (%)	0.181	-0.231	0.199
Pyruvate content	-0.032	-0.117	0.115
Quercetin content (100 g ⁻¹ FW)	0.179	0.065	0.051
Quercetin content (g ⁻¹ DW)	0.233	-0.052	0.110
Penetration stress value (N) ^y	0.252	0.008	-0.119
Autumn-sown			
Overwinter (%)	0.072	0.216	0.044
Bolting (%)	0.265	-0.044	-0.104
Date to harvest	0.274	0.010	0.117
Bulb height (BH)	0.133	0.281	0.122
Bulb diameter (BD)	-0.067	0.267	0.310
BH/BD ratio	0.197	-0.050	-0.283
Bulb weight	0.018	0.300	0.271
Plant height ^x	0.076	0.181	0.341
Penetration stress value (N) ^x	0.055	0.095	0.078
Dry matter (%) ^x	0.161	-0.211	0.207
Brix (%) ^x	0.116	-0.204	0.325
Pyruvate content ^x	0.197	-0.194	0.021
Quercetin content (100 g ⁻¹ FW) ^x	0.252	0.004	-0.060
Quercetin content (g ⁻¹ DW) ^x	0.264	-0.062	0.003

^z Average data obtained from spring-sown (2016S and 2017S) and autumn-sown (2015A and 2016A) cultivation were used. Regarding each main component, the top and bottom three eigenvectors are shown in **bold** (top) and *italics* (bottom), respectively.

^y Data from trial 2017S were used as spring-sown cultivation.

^x Data from trial 2016A were used as autumn-sown cultivation.

ことから, No.65 (OREGON DANVERS YELLOW GLOBE) も春まき品種の多くが含まれるグループIIIに再分類されたものと考えられる. 一方, No.84 (INT/RUS/2001/ASHIZAWA) は, 春まき品種と同様の収穫まで日数であったが, その他の形質は秋まき中生品種に近い特性を示したことから, グループIIに再分類されたと考えられた (データ省略).

Fig. 4. Scatter plots based on the first and second main components calculated by principal component analysis.

A total of 30 traits listed in Table 7 (a), 29 traits from spring-sown cultivation (b), 21 traits from autumn-sown cultivation (c), 38 growth traits (d), and 12 component traits (e).

Fig. 5. Cluster analysis (Ward method) based on 30 traits of 95 bulb onion cultivars.

本研究により、多様なタマネギ品種・系統について、客観的な特性データを用いて品種の再分類を行うことができた。今回用いた品種・系統にはなかったが、秋まき早生品種の中には、春まき栽培において、定植直後に肥大開始する品種が認められている（塚崎ら、未発表データ）。このような品種については、りん茎形質を十分に評価できない可能性が考えられるが、積雪や凍結による越冬率の低下や、暖冬による不時抽苔の増加などによって、秋まき栽培による安定的な評価が難しい地域では、早生品種において

も春まき栽培によって評価を行うことが有望であることが示された。その一方で、東北地域での春まき作型では、播種時期が遅くなるに従ってりん茎重が小さくなり、その程度は早生品種の方が大きい（Ikeda ら、2019）ことから、適切な時期に播種、定植することが重要である。また、春まき栽培では生育期間中にほとんど低温遭遇しないことから、育種形質として重要な不時抽苔性については淘汰できないことに留意する必要がある。

摘 要

タマネギは、国内生産量第3位の重要な野菜品目である。主に北海道向けの春まき（晩生）品種と本州・西南暖地向けの秋まき（早生）品種に分化しており、両品種群を同時に栽培してその特性を比較することは難しい。そのような中で、東北地域で開発された春まき作型では、両品種群を含む幅広い品種を栽培することが可能であることが判明し、今後はこの作型に適応した品種を開発・選定することが望まれている。しかし、これまで東北地域において、品種選抜の基礎となる気象条件を反映した品種・系統の特性データは得られていない。そこで本研究では、海外の品種を含めた遺伝的に多様な95品種・系統を用いて、各2回の春まき・秋まき栽培により計50形質データを取得した。春まき栽培と秋まき栽培の間で一部の形質を除いて有意な相関が認められたことから、秋まき栽培による安定的な評価が難しい地域では、早生品種においても春まき栽培によって評価できることが示された。各作型において2か年調査した21形質の平均値を中心に30形質データを用いた主成分分析により、主に生育の早晚に特徴付けられる第1主成分、主にりん茎の形質に特徴付けられる第2主成分を見出し、これらの主成分スコアに基づいた散布図およびクラスター分析の結果は、従来の品種群を概ね反映した。

謝 辞 本研究を遂行するに当たり、藤澤佳行氏、高橋博貴氏、齊藤 進氏、井上正人氏には、圃場管理をしていただきました。また、沖 節子氏、櫻井由香里氏、蛭名節子氏には、生育および収穫物調査に協力いただきました。この場を借りて感謝いたします。

引用文献

- 阿部定夫・勝又広太郎・吉永秀夫. 1955. 本邦玉葱品種の結球に於ける感光性と生態的分化に関する考察. 園学雑. 24: 6–16.
- Bosch Serra, A. D. and L. Currah. 2002. Agronomy of onions. p. 187–232. In: H. D. Rabinowitch and L. Currah (eds.). *Allium crop science: recent advances*. CABI Publishing, UK.
- Galmarini, C. R., I. L. Goldman and M. J. Havey. 2001. Genetic analyses of correlated solids, flavor, and health-enhancing traits in onion (*Allium cepa* L.). *Mol. Genet. Genomics* 265: 543–551.
- Ikeda, H., T. Kinoshita, T. Yamamoto and A. Yamasaki. 2019. Sowing time and temperature influence bulb development in spring-sown onion (*Allium cepa* L.). *Sci. Hortic.* 244: 242–248.
- Ikeda, H., T. Yamamoto, T. Kinoshita, H. Tsukazaki and A. Yamasaki. 2020. A comparative study on the growth and bulb development of several onion (*Allium cepa* L.) culti-

vars sown in spring in the northeast region of Japan. *Hort. J.* 89: 586–592.

- McCallum, J., M. Pither-Joyce, M. Shaw, F. Kenel, S. Davis, R. Butler, J. Scheffer, J. Jakse and M. J. Havey. 2007. Genetic mapping of sulfur assimilation genes reveals a QTL for onion bulb pungency. *Theor. Appl. Genet.* 114: 815–822.
- 室 崇人・嘉見大助・杉山慶太. 2015. ケルセチン配糖体を高含有するタマネギ品種「クエルゴールド」の育成. 園学研. 14: 301–311.
- 農研機構. 2016. 東北・北陸地域におけるタマネギの春まき栽培技術（技術解説編）. <https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/spring-sowing_onions.pdf>.
- 農林水産省. 2019. 作物統計調査／作況調査（野菜）確報平成30年産野菜生産出荷統計. <<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500215&tstat=000001013427&cycle=7&year=20180&month=0&tclass1=000001032286&tclass2=000001032933&tclass3=000001135323>>.
- 奥 聡史・前田智雄・平川直人・平野里美・佐々木雄輝・村木美保・Wambrauw D. Z.・小山内祥代・本多和茂・鈴木 卓・山崎 篤. 2018. 青森県におけるタマネギ春まき作型に適した品種評価. 園学研. 17: 359–367.
- Pöhl, T., N. Minor, R. Carle and R. Schweiggert. 2019. Accumulation of carbohydrates and pungent principles in characteristic seed and set grown onion varieties (*Allium cepa* L.). *J. Appl. Bot. Food Qual.* 92: 267–273.
- Pöhl, T., R. M. Schweiggert and R. Carle. 2018. Impact of cultivation method and cultivar selection on soluble carbohydrates and pungent principles in onions (*Allium cepa* L.). *J. Agric. Food Chem.* 66: 12827–12835.
- 戸田義久. 2015. 水田転換畑におけるたまねぎ生産～JAとなみ野の機械化一貫体系の取り組み～. 野菜情報. 136: 49–59.
- 塚崎 光・本城正憲・松尾健太郎・山本岳彦・山崎 篤. 2015. 東北地域向けタマネギ育種に向けた特性データの多変量解析. 園学研. 15（別1）: 150.
- 山崎 篤・森山真久・松尾健太郎・山崎浩道・濱野 恵. 2013. 2, 3月まき夏どりタマネギりん茎の葉の構成に及ぼす品種および播種時期の影響. 園学研. 12（別1）: 131.
- Yoo, K. S., L. M. Pike and B. K. Hamilton. 1995. A simplified pyruvic acid analysis suitable for onion breeding programs. *HortScience* 30: 1306.
- 財務省貿易統計. 2019. 農林水産物輸出入統計（2018年）. <<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500100&tstat=000001018079&cycle=7&year=20180&month=0&tclass1=000001018080>>.