

新作物キノアの生体調整機能の調査とその利用技術の開発

総合農業技術センター・山梨大学¹

竹丘 守・石井利幸・藤木俊也・上野直也・中尾篤人¹・廣瀬裕子¹

Investigation of Biological Action of New Crop Quinoa (*Chenopodium quinoa* WILLD.) and Development of its Utilization Technology

Yamanashi Prefectural Agritech Center, University of Yamanashi¹

Mamoru TAKEOKA, Toshiyuki ISHII, Toshiya FUJIKI, Naoya UENO, Atsuhito NAKAO¹, Yuko HIROSE¹

要 約

南米原産のアカザ科に属する擬穀類キノアの山梨県における夏播種栽培適応性を検討した。標高315m圃場で8月播種の場合、子実収量は、180個体m⁻²程度の密植では春播種と同程度となったが、標高955m圃場では栽植密度に関係なく、春播種より少収になることが明らかになった。一方、子実品質は、夏播種の方が春播種より優れた。現地実証試験では、子実肥大期以降に著しい降雨があると倒伏・折損し、子実収量に大きな影響を及ぼすことが確認された。労働時間は、除草に刈払機を、収穫に大豆・そば用コンバインを使用することで10aあたり約30時間まで短縮することができた。しかし、収穫後の調整作業で多くの時間を要し、大豆や水稲と比較すると10~30%程度多いと推察された。

キノアの疾患予防効果について、各種の疾患動物（マウス）モデルを用いて検討した。その結果、マウス大腸炎モデルに対して体重減少の抑制、血便の減少が観察され、腸炎が抑制されている可能性が示唆された。

1. 緒 言

南米アンデス地方原産のキノア (*Chenopodium quinoa* WILLD.) は、アカザ科アカザ属一年草の擬穀類で、かつてインカ族の主要穀物の一つであった¹⁾。外部形態は、同属のシロザやアカザに酷似しているが、主茎上部に円錐状の大きな穂をつけることがキノアの特徴である。子実（種子）は米や小麦などの主要穀物と比べて、タンパク質含量（約12%）が高く、必須アミノ酸組成に優れ、カルシウム、マグネシウムなどのミネラル栄養素が多く含まれている。近年では、血圧上昇抑制作用などの生体調節機能が確認されるなど機能性食品としても注目されつつある²⁾。

キノアはペルーやボリビアにおける栽培地域によって、Valley type, Altiplano type, Salar type, Sea-level typeの4つに分類される³⁾。このうち前者3 typeは標高2000~4000mの高標高地でのみ栽培されているのに対して、低標高地が起源のSea-level typeは、我が国でも栽培が可能である⁴⁾。現在、国内で流通しているキノアはすべて輸入品であるため、Sea-level typeのキノアを本県で生産して、これを原料にすれば、市場性の高い製品になりうると考えられる。

本研究では、キノアの国内初の産地化を目指して、栽

培可能な優良品種または系統を選定し、本県における栽培技術を確立する。さらに、山梨県産キノアの生体調整機能を調査する。

昨年度までに、収量や耐倒伏性などの栽培の観点から、本県に適する系統は、NL-6系統（以下N6と略す）であり、最適窒素基肥量は、8g m⁻²程度であることを明らかにした。さらに、播種時期と栽植密度の検討を行い、4月播種は、8月播種より多収となるが、子実の外観品質は8月播種の方が良好であった。また、4月播種は栽植密度を変えても、生育ステージ、収量及び品質にほとんど影響を及ぼさなかったが、8月播種では30個体m⁻²に対して90個体m⁻²の方が増収する傾向が見られた。現地試験では、作業時間を調査した結果、合計で10aあたり約90時間となり、そのうち、手作業の多い除草や収穫作業が66%を占めることが明らかになった⁵⁾。⁶⁾

本年度は、夏播種栽培における播種時期の違いと90個体m⁻²以上の密植がキノアの生育、収量に及ぼす影響について明らかにした。現地試験は、標高の異なる3圃場で、確立された栽培技術の実証と省力化を目的とした労働時間の算出を行った。

また、キノアの疾患予防効果について各種の疾患動物（マウス）モデルを用いて検討を行った。今回はその1

例として、野生型マウスに3% dextran sodium sulfate (DSS) を1週間自由飲水させることによって惹起させる大腸炎モデル (DSS誘導性大腸炎) に対するキノアの予防効果について報告する。

2. 実験方法

2-1 播種時期と栽植密度

試験は総合農業技術センター本所 (甲斐市, 標高315m, 灰色低地土, pH (H₂O): 6.8, 前作: ナス, 以下平坦地と略す), 及び同センターハヶ岳試験地 (北杜市高根町, 標高955m, 黒ボク土, pH (H₂O): 6.7, 前作: ソルゴー, 以下高冷地と略す) で行った。供試したN6は, 2006年度に当センターで採種された子実を用いた。試験区は, 播種時期として平坦地は8月9日, 27日, 高冷地は8月3日, 23日, 栽植密度として90個体m⁻² (畝幅60cm, 株間1.8cm), 180個体m⁻² (畝幅30cm, 株間1.8cm) のそれぞれ2水準を設けた。対照区として平坦地は4月9日, 高冷地は4月24日に播種した90個体m⁻²区を設けた。栽植密度は出芽後, 間引きを行って調整した。試験規模は1区10.8m²の2反復とした。施肥は, N-P₂O₅-K₂Oとして8-8-8g m⁻²を化成8号で与えた。その他に平坦地は苦土石灰で80g m⁻²を全層施用した。病害虫防除は, 高冷地の対照区において, 6月19日にイミダクロプリド20%フロアブル剤4000倍希釈液を散布した。調査項目は各生育期, 草丈, 倒伏・折損程度, 子実収量及び品質, 千粒重とした。収量調査は天日乾燥, 脱穀 (藤原製作所製TSL型), 風選 (木屋製作所製), 搗精 (山本製作所製 VP31T, 搗精白度2, 流量2~3) 後の子実を用いて行った。

2-2 現地実証

試験は南アルプス市戸田 (標高250m, 灰色低地土, 前作野菜類, 以下南ア), 北杜市須玉町 (標高800m, 黒ボク土, 休耕地, 以下須玉), 北杜市長坂町 (標高920m, 黒ボク土, 前作: 葉菜類, 以下長坂) の3カ所で行った。手押し式播種機 (株式会社向井工業製 HS-801型, ベルト: R2.5 0-28, 播種量: 1mあたり約0.36g) を用いて, 南アが8月27日, 須玉が8月13日, 長坂が8月17日に, それぞれ播種した。試験規模は, 1区あたり, 南ア150m², 須玉840m², 長坂189m²で反復なしとした。南ア, 須玉の施肥はN-P₂O₅-K₂Oとして8-8-8g m⁻²を化成8号で, 長坂は10-26.3-10.4g m⁻²をなたねかすで施用した。栽培期間中の薬剤防除は行わなかった。調査項目は2-1の項目に加えて, 栽培前の土壌化学性, 労働時間とした。

2-3 キノア経口投与がDSS腸炎に及ぼす予防効果

(1) DSS誘導性腸炎及びその評価

野生型C57BL/6マウス (雌, 6-8週令) に3% dextran sodium sulfate (DSS) を7日間自由飲水させ, 既報のように大腸炎を惹起させた。DSS飲水開始時より毎日体重測定を行なった。さらにDSS飲水開始後8日目にマウスを屠殺し, 便潜血反応および大腸の長さ, 好中球活性, 腸管における炎症性変化, サイトカイン産生 (TNF- α) について, 便潜血測定用試薬 (シオノギ), ミエルペルオキシダーゼ活性 (MPO活性), real-time PCR法を用いて検討した。

(2) キノア投与方法

キノア子実をコーヒーマイルで粉碎し, メタノールで抽出した。メタノール抽出物は濃縮後, 水に懸濁し, ヘキササン引き続いて酢酸エチルおよびブタノールで順次抽出し, それぞれの抽出液を濃縮した。ヘキササン抽出物は褐色油状物, 酢酸エチル抽出物は褐色固体, ブタノール抽出物は黄白色の粉末状固体が得られた。

本試験では, 野生型C57BL/6マウスに前述のブタノール抽出物を体重あたり1, 10, 100, 1000mg kg⁻¹, DSS飲水前に1週間前投与あるいはDSS飲水と同時に1週間, 胃ゾンデを用いて経口的に投与した。

3. 結果

3-1 気象概況

8月以降の気温は, 8月中旬が平年より2℃, 9月が1.5~3℃高く, 全体的に高く推移した (図1)。降水量は, 9月5~7日, 9月10~12日, 10月26~27日に, それぞれ114.5mm, 71.5mm, 73mmの降雨があり, これらの時期は, 平年の240~400%となった。それ以外の期間は小雨傾向となり, 8月播種区の生育期間全体では平年並みとなった。

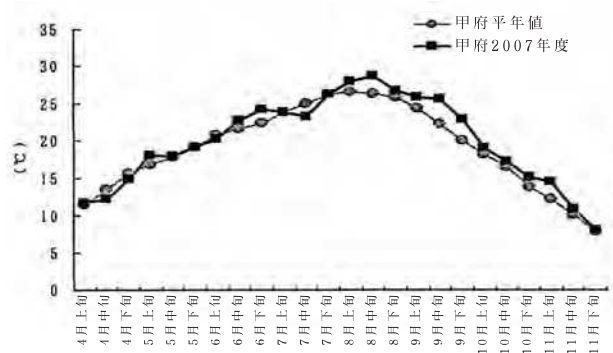


図1 甲府における2007年度の気温と1971~2000年の平均気温

*データは甲府気象台による

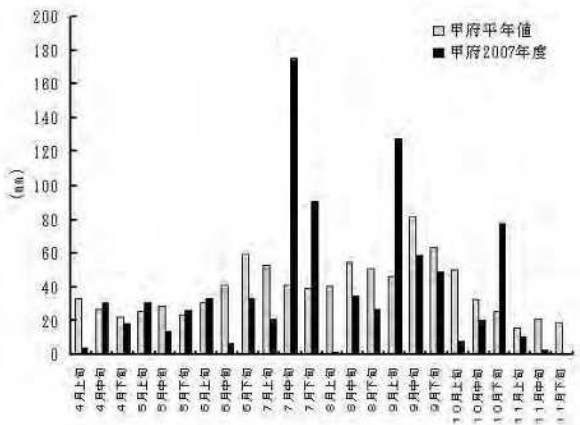


図2 甲府における2007年度の降水量と1971～2000年の平年降水量

*データは図1に準ずる

3-2 播種時期と栽植密度

平坦地の8月27日播種区は、9月上旬の降雨で著しい出芽不良となったため、特性調査のみを行った。昨年度同様、播種時期が遅くなるほど、草丈や花穂長が低くなる傾向がみられた。

平坦地の子実収量は、8月9日播種区において、180個体m²区が90個体m²区より高くなり、対照区と同等となった。子実品質は、黒く汚れた子実(黒変粒)の混入がまったくみられず、4月播種区より優れた(表1)。

高冷地の子実収量は対照区より低くなった。平坦地同様、汚粒はなく子実品質は優れた(表2)。

千粒重は、栽培場所、播種時期及び栽植密度の違いによる一定の傾向は認められなかった(表1, 2)。

表1 平坦地における播種時期と栽植密度の違いがキノアの生育、収量及び子実品質に及ぼす影響

播種日 (月・日)	栽植 密度 (個体m ²)	開花期* (月・日)	成熟期* (月・日)	草丈 (cm)	花穂長 (cm)	倒伏* 程度	折損* 程度	子実* 収量 (kg 10a ⁻¹)	子実* 千粒重 (g)	汚粒* 程度
8.9	90	9.16	10.24	48.4	10.7	1	3	139	2.43	0
	180	9.16	10.24	53.9	10.5	1	3	204	2.25	0
8.27	90	10.8	11.24	46.3	9.4	1	1	未調査	2.79	0
4.9(対照)	90	5.30	7.10	84.7	16.4	0	0	209	2.19	1.5

z : 区内の40～50%の個体に開花が確認された日(観察)
 y : 子実の80～90%が指で押してもつぶれないようになった日(観察)
 x : 0(無)～5(甚)の6段階評価(観察)
 w : 水分15%換算
 v : 黒変粒の混入割合 0(0～5%), 1(6～10%), 2(11～20%), 3(21～40%), 4(41～60%), 5(61%以上)(観察)

表2 高冷地における播種時期と栽植密度の違いがキノアの生育、収量及び子実品質に及ぼす影響

播種日 (月・日)	栽植 密度 (個体m ²)	開花期* (月・日)	成熟期* (月・日)	草丈 (cm)	花穂長 (cm)	倒伏* 程度	折損* 程度	子実* 収量 (kg 10a ⁻¹)	子実* 千粒重 (g)	汚粒* 程度
8.3	90	9.9	10.14	68.7	10.5	3	4	110	2.69	0
	180	9.9	10.14	61.4	9.4	3	4	140	2.32	0
8.23	90	9.28	11.20	37.4	9.2	3	2	121	2.31	0
	180	9.28	11.20	38.0	7.5	3	2	122	2.51	0
4.24(対照)	90	6.13	7.31	91.7	14.1	0.5	2.5	195	2.64	2

z, y, x, w, v : 表1参照.

3-3 現地実証

試験圃場における供試土壌の化学性は、pH(H₂O)は6.3～6.9であった。交換性K₂Oは30mg 100g⁻¹以上、可給態リン酸(Truogリン酸)は須玉を除いて50mg 100g⁻¹以上であった。NO₃-Nは3mg 100g⁻¹以下で、前作からの残存は認められなかった(表3)。

開花期は9月中旬～10月上旬、成熟期は10月下旬～11月中旬であった。須玉は9月26～27日の降雨(約50mm)、南アは10月26～27日の降雨(約70mm)により、多くの個体が倒伏、折損して、子実収量は90g m⁻²以下となった。また、須玉は汚粒が多くなった。子実の千粒重は長坂が2.95gで最も高くなった。南アが2.27gで他圃場よりも低くなったのは、折損により子実肥大が抑制されたことによると思われる(表4)。

栽培に要する労働時間は10aあたり約30時間で、収穫後の選別調整作業が全体の60%以上を占めた。大豆、水稲の労働時間と比較すると10～30%程度多いと推察された(図3)。昨年度と比較すると、除草に刈払機を、収穫に大豆・そば用コンバインを使用することで66%短縮された。

表3 試験圃場の供試土壌化学性

圃場名	pH	EC	CaO	MgO	K ₂ O	Truog P ₂ O ₅	NH ₄ -N	NO ₃ -N
	(H ₂ O)	(mS cm ⁻¹)	(mg 100g ⁻¹)					
南ア	6.9	0.07	377	81	60	175	1	0
須玉	6.5	0.06	378	27	36	2	1	0
長坂	6.3	0.09	425	106	69	67	1	2

z, y, x, w, v : 表1参照.

表4 各試験圃場におけるキノアの生育、収量

試験圃場	開花期* (月・日)	成熟期* (月・日)	草丈 (cm)	花穂長 (cm)	主茎径 (mm)	倒伏* 程度	折損* 程度	子実* 収量 (kg 10a ⁻¹)	子実* 千粒重 (g)	汚粒* 程度
南ア	10.2	11.23	69.4	17.3	8.4	2	5	53	2.27	0
須玉	9.15	10.26	64.5	10.7	3.9	1	4	81	2.91	4
長坂	9.18	10.28	58.3	11.8	7.4	1	1	151	2.95	2

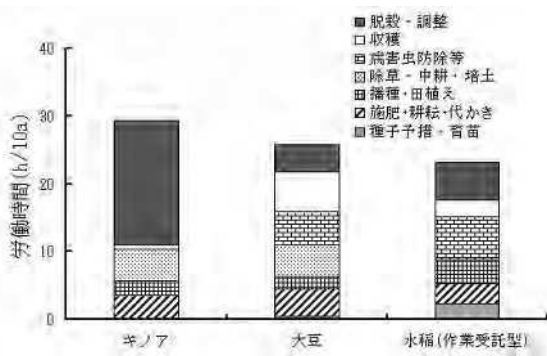


図3 キノア栽培における労働時間

- キノアは3圃場の実測平均値、大豆・水稲は山梨県作物別経営指標 (H12) から算出した。
- キノアは1条手押し播種機 (播種)、刈払機 (除草)、大豆・そば用コンバイン (収穫)、坪刈用唐箕 (調整) を使用した。

3-4 キノア経口投与がDSS腸炎に及ぼす予防効果

ブタノール抽出物を体重あたり1000mg kg⁻¹投与したマウスにおいて、DSS飲水前の前投与群あるいはDSS飲水時と同時投与のいずれの群においても、体重の減少が抑制され、また、血便の減少が観察された。一方、体重あたり1, 10, 100mg kg⁻¹投与したマウスにおいては、DSS飲水前の前投与群あるいはDSS飲水時と同時投与のいずれの群においても、体重減少の抑制、血便の減少が観察されなかった。

4. 考 察

昨年度までの播種時期の検討では、春に播種する場合、収量性などから4~5月 (平坦地は4月) が適していた。しかし、6月頃にカメノコハムシによる著しい食害が確認された。昨年度は夏播種について検討し、夏播種は春播種より少収傾向となるが、黒変粒の混入がなく、子実品質は優れた。そこで、本年度は、夏播種における収量性向上を目指して密植栽培について検討した。その結果、平坦地で栽植密度を180個体m⁻²で栽培すれば、春播きと同程度となるが、高冷地では、密植にしても春播種より少収になることが明らかになった。これは、生育前半が夏の高温期となる平坦地では、180個体m⁻²の密度でも花穂長などは小さくならず、1個体あたりの子実収量が90個体m⁻²とほぼ同等となったことが原因として考えられる。つまり、本県では、4月または8月の播種が可能で、栽培場所や栽培体系だけでなく、カメノコハムシなどの虫害発生状況を勘案して決める必要があると考えられる。8月に密植で栽培すると、茎が細くなり、著しい降雨で折損のリスクが増大するので、過度の密植にならないよう留意しなければならない。

労働時間は10aあたり約30時間で、収穫後の選別調整作業に全体の60%以上を要した。今後は、選別工程の

省力化に向けた機械改良などの検討が必要である。一方で、収穫までの栽培期間中の作業は大豆や水稲より少ないので、新たな土地利用型作物として導入されることが期待できる。

キノアの疾患予防効果については、現在、キノアが腸炎形成及び、炎症性サイトカイン産生に及ぼす効果について検討中ではあるが、これまで得られたデータは、キノアの大量摂取によって炎症性腸疾患の予防が可能であることを示唆している。さらなるパラメーターの解析によってその予防効果について検証が必要と考える。

本成果は、本県における基本的なキノアの栽培特性等を明らかにしたもののだが、一般生産農家の過程で更に検討をすべき内容も多い。来年度以降、生産規模が拡大して本県の新たな特産品となるように、生産農家、研究、普及、農協、実需者等の関係機関が連携していく。なお、本年度に現地試験を実施した3農家が、来年度以降、一般生産を予定しており、合計20a程度からのスタートする予定である。

近年、全国的に耕作放棄地の増加が大きな問題となっている。本県においても耕作放棄面積は3,252haとなっており、耕作放棄率は14.7%で全国で2番目の高さとなっている⁷⁾。土地利用型作物のキノアの生産振興により、これらの課題解決にもつながることを期待したい。

参考文献

- National Reserch Council: "Lost Crop of the Incas", National Academy Press, Washington, D.C., 149-161 (1989)
- 小川博, 目黒忠道, 渡辺克美, 光永俊郎: キノア投与が食餌性高脂血症誘導高血圧自然発生ラット (SHR) の血圧, 脂質代謝に及ぼす影響. 日本栄養食糧学会誌, 54 (4), 221-227, (2001)
- Fleming, J.E. and Galway, N.W.: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), In "Cereals and pseudocereals", Williams, J.T. ed., Chapman & Hall, 3-83, (1995)
- 氏家 和広, 笹川 亮, 山下 あやか, 磯部 勝孝, 石井 龍一: 我が国におけるキノア (*Chenopodium quinoa* WILLD.) 栽培に関する作物学的研究. 第1報子実収量からみた関東地方南部における播種適期の検討. 日作紀, 76 (1), 59-64 (2007)
- 竹丘 守, 石井 利幸, 加藤 知美, 内田 一秀, 上野 直也, 長坂 克彦: 新作物キノアの生体調整機能の調査とその利用技術の開発. 山梨県総理研研究報告. 1, 6-12 (2006)
- 竹丘 守, 石井 利幸, 内田 一秀, 堀内 浩明, 上野 直也, 長坂 克彦, 加藤 知美: 新作物キノアの生体調整機能の調査とその利用技術の開発. 山梨県総理研

究報告. 2, 6-13 (2007)

- 7) 農林水産省情報統計部：2005年農林業センサス
(2005)

成果発表状況

学会発表

- 1) 石井利幸, 加藤知美, 堀内浩明, 上野直也, 長坂克彦, 竹丘 守：施肥量の違いがキノアの生育・収量に及ぼす影響. 日本土壤肥料学会2007年大会, 東京, 2007
- 2) 廣瀬裕子, 吉田綾子, 鈴木安由子, 石井利幸, 竹丘 守：山梨県産擬穀類キノア種子に含まれるポリフェノール類の食品化学的評価. 第61回日本栄養・食糧学会, 埼玉, 2007