

クリの生育・成熟・収量予測に関する研究 (第2報) 胚の発育と果実生長解析について

佐久間文雄*・檜山博也**・石塚由之**
植田稔宏・多比良和生・保坂光良***

キーワード: クリ, ケツジツ, ハイ, カジツヒダイ, セイチョウキョクセン

Prediction of Growth, Maturity and Yield in the Japanese Chestnut (*Castanea crenata* Sieb. et Zucc) II . Analysis of Embryo and Nut Growth

Fumio SAKUMA, Hironari HIYAMA, Yoshiyuki ISHIZUKA, Toshihiro UEDA,
Kazuo TAHIRA and Mitsuyoshi HOSAKA

Summary

Fertilization time and embryo development in the Japanese chestnut were examined, and the growth curve of nut weight was analyzed.

1. Fertilization was completed within 30 days after artificial pollination.
2. Differences in the maximum width of embryo in pollinated and non-pollinated plants appeared 40 to 50 days after artificial pollination. Maximum width of pollinated embryo was above 1mm, and that of non-pollinated embryo was below 1mm.
3. The growth curve of nut weight showed a logistic curve, but m and a value of a logistic curve were variable in each year.
4. The growth curve of nut weight was statistically fitted to an orthogonal polynomial function. The regression equation was approximately fitted with a 1~4 degrees polynomial. But, the ratio of contribution was low from 39% to 63%.

I. 緒言

クリ生産および出荷対策の上からその年の生育作柄を早期に診断, 予測して的確に対応することが重要である。

前報(4)においては, 過去20年間の気象要因と生育・収量・品質との関係を解析し, クリの生育・収量・品質

に及ぼす気象要因の影響を明らかにした。しかし, 収量や果実肥大などを気象要因のみから予測することは困難で, 特に過去のデータから大きくはずれた異常年では全く予測が不可能であった。

クリの収量構成要素は雌花数・生理落果数(生理落果率)・1穂当たり含果数・一果重である。筆者らはすでに結果母枝の形質(基部直径・長さ)から雌花数や着穂数

* 現在茨城県農業総合センター生物工学研究所

** 退職

*** 現在茨城県農業総合センター笠間地域農業改良普及センター

などは高い寄与率で予測ができるが、生理落果率や1穂当たり含果数・一果重の寄与率は低いことを明らかにした(5)。

したがって、実際圃場で早期に収量を予測するためには、樹上に着穂した穂数のうち収穫可能穂数と穂果重を予測することが必要である。しかし、クリでは海老原ら(2)が報告しているように、不受精による後期落果が8月上旬まで続き、早期の収量予測を困難にしている。

そこで本報告では、早期に受精穂数を知るために、受精時期を明らかにするとともに、受精の有無を早期に判定する方法を検討した。また、果実肥大の生長曲線を解析し、肥大予測の基礎資料を得た。

II. 材料及び方法

1. クリ受精時期の検討

茨城県園芸試験場(現在茨城県農業総合センター園芸研究所)圃場に植栽された‘筑波’(1990年16年生)を供試した。6月1日に雌花開花始め(6月4日満開)の雌花に小袋を掛け受粉を遮断した。6月17日最も受粉しやすいといわれる時期(6)に‘石鎚’の雄花穂を袋の中に入れ、再び密封し受粉を行った。受粉後10日おきに柱頭を剃刀で切断し、その後穂および果実の結実率を調査した。受粉後10日、20日、30日、39日、52日、無処理の各区について10穂供試した。

2. 受精の有無の早期判定

茨城県園芸試験場圃場に植栽された‘筑波’(1986年12年生)2樹を供試した。結実が確実と思われる優良結果母枝(長さ50cm、太さ8mm以上)を各樹より20本ランダムに用いた。そのうち10本は、花粉遮断(無受粉)区とし、中果の開花始め前にすべての雌花にパラフィン紙小袋をかけ、受粉を遮断した。残り10本は、雌花満開時に‘銀寄’の雄花穂を採取し、受粉を行い人工受粉区とした。受粉日は、1986年6月9日、’87年6月5日、’88年6月13日、’89年6月12日であった。

受粉10日後より50日後まで10日おきに1樹より各区3~6穂採取し、胚の発育(胚の最大巾)を実体顕微鏡、マイクロメーターで測定した。花粉遮断区と人工受粉区の胚の大きさを比較した。

3. 果肉重の推移と生長曲線

茨城県園芸試験場圃場に植栽された‘丹沢’・‘筑波’・‘石鎚’の成木(1985年11年生)各品種3樹を供試した。8月より収穫始めまで毎月1日、11日、21日の3回、1

樹より10穂採取して、渋皮付果肉重・受精穂率を測定した。

雌花の満開日は、1985、’86、’87、’88年の順に‘丹沢’6月10日、6月17日、6月5日、6月5日、‘筑波’6月10日、6月16日、6月3日、6月4日、‘石鎚’6月11日、6月19日、6月6日、6月7日であった。

果肉重(渋皮付)の生長解析を1985年から’87年までの3年間についてはロジスティック曲線、および1985年から’88年の4年間については直交多項式にあてはめて行った。データはすべて満開後日数に変換して解析した。

III. 結果

1. 受精時期の検討

受粉後10日に柱頭を切断した場合、すべての雌花(穂)が落下した。受粉後20日以降は結実した穂が60%以上となり、無処理と差がなかった。果実単位での結実率は受粉後20日では26.7%と低かったが、30日以降は43%以上で無処理と差がなかった(Table 1)。このことからクリ‘筑波’の受精時期は受粉後30日であった。

Table 1. Effect of cutting time of stigma on fertility.

Cutting times		Dropping ^Z	Fertilized ^Y	Fertilized ^X
AAP ^W	10days	27 June	100%	0%
	20	7 July	40	60
	30	17	40	60
	39	26	20	80
	52	8 August	50	50
No treatment			40	60

Polinated ‘Tsukuba’ × ‘Ishizuchi’

Z ; Dropping burrs rate,

Y ; Fertilized burrs rate,

X ; Fertilized nut rate

W ; After an artificial pollination

2. 受精の有無の早期判定

1) 1986年

観察の結果、胚の発育は早生種ほど早く、18~20個程度確認された胚珠のうち、1個が他より明らかに大きく肥大し、肉眼で受精の有無を完全に判定できたのは、‘丹沢’では8月1日(満開後45日)、『筑波’・‘石鎚’では8月8日(満開後‘筑波’53日、‘石鎚’50日)であった。

受粉28日後の胚の大きさの分布は、花粉遮断区には0.84mm以上のものが認められなかった。受粉39日後の胚の大きさの分布は花粉遮断区には1mm以上のものがなかった(データ省略)。

2) 1987年

1986年と同様に、肉眼で受精の有無が完全に判定できたのは、‘丹沢’では7月31日(満開56日後)、『筑波』・『石鎚』では8月11日(満開後‘筑波’69日、『石鎚’66日)であった。

受粉34日後までは受粉区、花粉遮断区ともに胚の発

育に差はみらなかった。受粉41日後には差が明らかとなり、最大胚の大きさが顕著に表れた。受粉52日後には差がより顕著となり、最大胚の大きさの平均は受粉区4.12mm、花粉遮断区1.07mmと4倍の差があった。しかし、花粉遮断区の胚は受粉52日後になってもわずかながらまだ発育していた(Table 2)。

Table 2. The enlargement of embryo width in ‘Tsukuba’lateral nut in 1987.

Treatment		20days AAP ^z		34days AAP		41days AAP		52days AAP	
		Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.
Pollinated	1	0.29 ^{mm}	0.40 ^{mm}	0.60 ^{mm}	0.71 ^{mm}	0.76 ^{mm}	1.42 ^{mm}		
	2	0.30	0.45	0.63	0.81	0.79	1.50	0.94	4.12
Non-pollinated	1	0.29	0.35	0.57	0.71	0.67	0.84		
	2	0.31	0.40	0.62	0.77	0.67	0.84	0.85	1.07

Z : After an artificial pollination

3) 1988年

胚の発育は、全ての胚の平均及び最大胚の大きさ(最大幅)とも受粉後30日までは、人工受粉区、花粉遮断区で差がみられなかった。受粉40日以降についてはサンプルが採取できず調査ができなかった。

4) 1989年

側果1果当たり採取された胚の数は18個が最も多く、最大は20個であった。全ての胚の大きさの平均は、受粉後42日までは花粉遮断区、人工受粉区ともに差が

なく受粉後55日になって差が認められた。最大胚の大きさについても同様であり、受精胚と無受精胚の発育の差は受粉後55日にならないと確認できなかった。人工受粉区において受粉後55日になっても胚の発育が悪く、明らかに受精していない胚がみられた。また、花粉遮断区の無受精胚は受粉後55日においてもわずかながら発育を続けていた。しかし最大胚の大きさは1mm程度であった。それに対し、人工受粉区の最大胚の大きさは7mm程度であった(Table 3)。

Table 3. The enlargement of embryo width in ‘Tsukuba’lateral nut in 1988.

		11days AAP ^z		21days AAP		31days AAP		42days AAP		55days AAP	
		Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.
Pollinated	1	- ^{mm}	- ^{mm}	0.45 ^{mm}	0.53 ^{mm}	0.71 ^{mm}	0.87 ^{mm}	0.83 ^{mm}	0.98 ^{mm}	1.22 ^{mm}	6.38 ^{mm}
	2	0.22	0.30	0.59	0.75	0.82	1.01	0.88	1.25	1.29	7.80
Non-pollinated	1	-	-	0.56	0.68	0.76	0.90	0.90	1.02	0.95	1.13
	2	0.16	0.19	0.42	0.51	0.78	0.95	0.91	1.12	1.00	1.33

Z : After an artificial pollination

3. 果肉重の推移と生長曲線

受精率が100%となって(後期落果終了)、外観上受精の有無が完全に判定できたのは、1985, '86, '87, '88年の順に‘丹沢’8月9日, 8月28日, 8月11日, 8

月22日, ‘筑波’8月19日, 8月28日, 8月22日, 8月31日, ‘石鎚’8月29日, 9月9日, 8月22日~9月1日, 9月12~24日であった(Table 4, 5, 6, 7)。

Table 4. Time-course change of fertilized burrs rate and nut weight in 1985.

Cultivar		31 Jul.	9 Aug.	19 Aug.	29 Aug.	10 Sep.	21 Sep.	2 Des.
		Tanzawa	Flesh weight ^Z (g)	0.15	1.67	9.7	22.3	37.0
	Fertilized burrs rate(%)	80	96.7	96.7	100	100		
Tsukuba	Flesh weight ^Z (g)	0.01	0.04	0.36	2.06	12.0	27.0	36.3
	Fertilized burrs rate(%)	50	70	100	100	100	100	100
Ishizuchi	Flesh weight ^Z (g)	0.01	0.02	0.15	1.16	8.0	20.0	27.7
	Fertilized burrs rate(%)	53.3	73.3	86.7	96.7	100	100	100

Z : Flesh weight with pellicle per a bur

Table 5. Time-course change of fertilized burrs rate and nut weight in 1986.

Cultivar		1 Aug.	8 Aug.	18 Aug.	28 Aug.	9 Sep.	20 Sep.	1 Oct.
Tanzawa	Flesh weight ^Z (g)	0.13	0.78	7.6	21.9	45.3		
	Fertilized burrs rate(%)	69.3	93.3	86.3	100	100		
Tsukuba	Flesh weight ^Z (g)	0.01	0.04	0.21	2.5	9.1	20.6	31.8
	Fertilized burrs rate(%)	63.3	53.3	74.2	96.7	100	100	100
Ishizuchi	Flesh weight ^Z (g)		0.01	0.04	0.4	4.0	9.6	23.3
	Fertilized burrs rate(%)	20.0	70.0	66.7	73.3	93.3	100	100

Z ; Flesh weight with pellicle per a bur

Table 6. Time-course change of fertilized burrs rate and nut weight in 1987.

Cultivar		31 Jul.	11 Aug.	22 Aug.	1 Sep.	11 Sep.	22 Sep.
Tanzawa	Flesh weight ^Z (g)	0.98	7.9	20.0	46.6		
	Fertilized burrs rate(%)	80.0	96.7	96.7	100		
Tsukuba	Flesh weight ^Z (g)	0.03	0.3	3.2	9.8	20.5	32.7
	Fertilized burrs rate(%)	63.3	86.7	100	100	100	100
Ishizuchi	Flesh weight ^Z (g)	0.02	0.2	1.6	5.6	14.4	22.5
	Fertilized burrs rate(%)	83.3	83.3	93.3	100	100	100

Z ; Flesh weight with pellicle per a bur

Table 7. Time-course change of fertilized burrs rate and nut weight in 1988

Cultivar		3 Aug.	12 Aug.	22 Aug.	31 Aug.	12 Sep.	24 Sep.	7 Oct.
Tanzawa	Flesh weight ^Z (g)	0.76	6.39	20.8	31.5			
	Fertilized burrs rate(%)	76.7	90.0	100.0	100			
Tsukuba	Flesh weight ^Z (g)	0.02	0.16	1.45	5.3	16.8	36.67	
	Fertilized burrs rate(%)	66.7	76.7	90.0	96.7	100	100	
Ishizuchi	Flesh weight ^Z (g)	0.01	0.08	0.79	2.48	8.0	19.3	33.8
	Fertilized burrs rate(%)	66.7	73.3	80.0	90.0	93.3	100	100

Z ; Flesh weight with pellicle per a bur

満開後日数に変換すると、受精率率が100%となったのは、'丹沢'満開後60-70日、'筑波'満開後70-80日、'石鎚'満開後80-90日であった。

果肉重の発育は、'丹沢'は収穫期まで肥大を続け、2次曲線を描いた。'筑波'・'石鎚'は、収穫前に肥大が

緩慢になりロジスティック曲線を描いた。

果肉重の推移を満開後日数に変換すると、'丹沢'は年次間で差が大きかったが、'筑波'・'石鎚'は年次間差が少なく、同様な肥大曲線となった(Fig.1)。

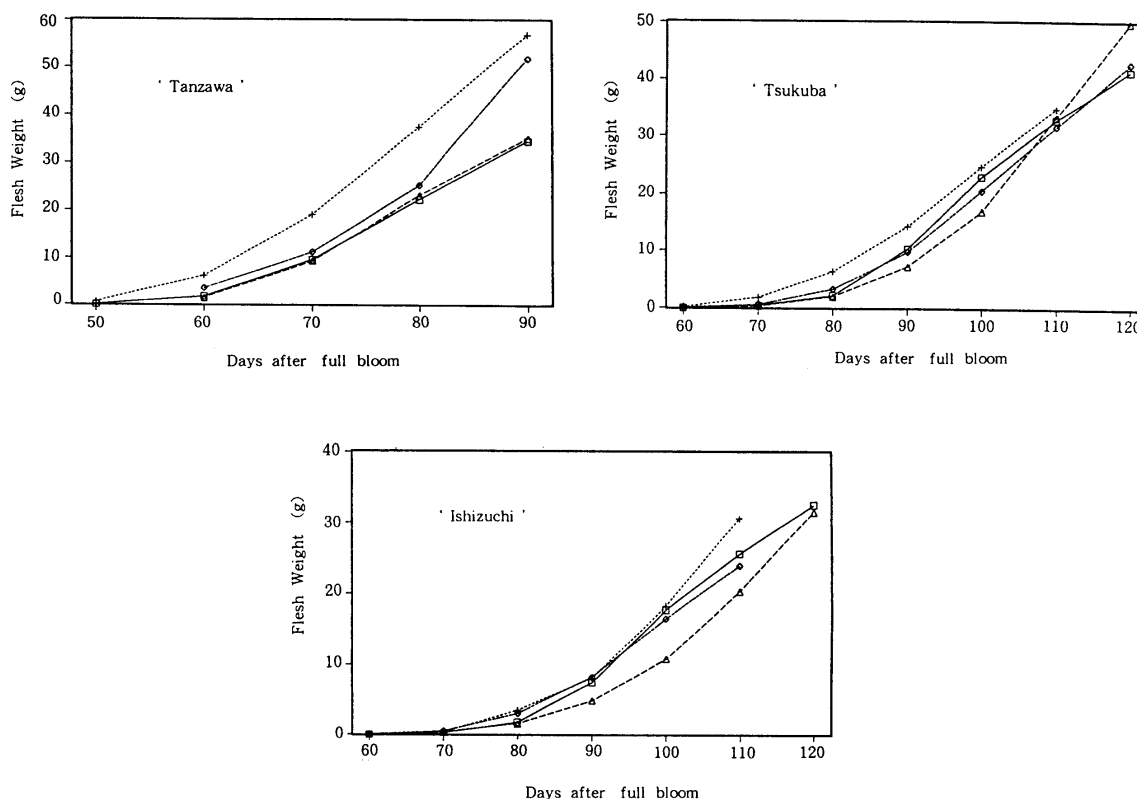


Fig. 1. The growth curves of nut of 'Tanzawa', 'Tsukuba' and 'Ishizuchi'. □ 1985 × 1986 ◇ 1987 △ 1988

1985~87年3ヶ年の果肉重の推移を満開後日数に変換し、その生長曲線をロジスティック曲線で表した。そのm,a値および推定値と実測値の関係をTable 8に示した。m値は年次により大きな差がみられた。特に'筑波'・'石鎚'で著しかった。m値は早生種ほど小さかっ

た。a値はm値ほどの年次間差はなく、品種間では早生種'丹沢'がやや大きかった。推定値と実測値の関係は0.971~0.999と相関が高かったが、'丹沢'および1986年はやや小さかった。

Table 8. Yearly change of m and a value in a logistic curve of nut weight.

Cultivar	m			a			correlation coefficient between estimated and measured value(r)			K value	No. of data
	1985	86	87	1985	86	87	1985	86	87		
Tanzawa	110.628	212.308	211.832	1.685	1.681	1.735	0.987	0.971	0.972	50	5
Tsukuba	27327.728	2260.823	4381.940	1.816	1.455	1.418	0.999	0.975	0.990	40	7
Ishizuchi	5621.399	12616.497	2505.061	1.556	1.679	1.437	0.990	0.983	0.972	30	7

$$\hat{Y} = \frac{K}{1 + e^{-at}}$$

- t=1 50~59days after full bloom
 2 60~69days
 3 70~79days
 4 80~89days
 5 90~99days
 6 100~109days
 7 110~119days

1985~'88年4年間のデータを満開後日数に変換し、直交多項式にあてはめた。'丹沢'では1985, '87, '88年は1次曲線, '86年は2次曲線で表された。'筑波'では1985年は4次曲線, '86~'88年は2次曲線で表され

た。'石鎚'では1985~'88年すべて2次曲線で表された。分散分析の結果, F値はすべて1%または5%水準で有意な結果であったが, 寄与率 R^2 は38.9%から63.2%と低かった (Table 9)。

Table 9. Yearly change of the regression coefficient in an orthogonal polynomial of nut weight.

Cultivar	year	B(0)	B(1)	B(2)	B(3)	B(4)	F-value	R ² (%)
Tanzawa	1985	-51.817	0.934				55**	46.4
	86	66.373	-2.895	0.031			346**	55.7
	87	-80.98	1.382				18*	41.5
	88	-68.114	1.136				98*	38.9
Tsukuba	1985	-558.392	31.015	-0.625	5.406E-03	-1.667E-05	108**	60.6
	86	38.707	-1.41	0.012			188**	61.1
	87	58.32	-1.858	0.146			183**	53.6
	88	99.968	-2.895	0.207			119**	63.0
Ishizuchi	1985	40.399	-1.352	0.011			43**	61.4
	86	50.957	-1.671	0.013			36**	63.1
	87	42.572	-1.384	0.011			58**	55.7
	88	54.361	-1.615	0.011			214**	62.3

IV. 考 察

クリの収量・果実肥大を早期に予測するためには、樹上に着粒した穂数のうち収穫可能穂数と穂果重を知る必要がある。そこで受精時期を明らかにするとともに、受精の有無を早期に判定するために、胚の発育を調査した。また、果実肥大の生長曲線を解析し、肥大予測の基礎資料を得た。

1. 受精時期の検討

従来、クリの雌花の受精能力期間は、雌ずいが出はじめてから1ヶ月間程度で、受粉の適期は雌ずいの出現後20日間前後とされてきた(6)。しかし、中村(7)はクリの胚珠の発育を詳細に調査し、完成した胚珠が確認されたのは、花柱が開き始めた後1週間経ってから、花柱突出後約3週間後であると報告している。さらに、クリの受精適期は花柱が伸長を停止した3~7日後、中心子房の花柱突出後28~32日頃としている(9)。

クリの受精が受粉後30日になって確認されたことについては、久保(3)も同様の結果を得ており、その過程について中村(10)は柱頭上における花粉の発芽、花粉管の伸長開始は、花柱の伸長がほぼ停止した時期から約1週間にかけて認められたことから、花粉は発芽後花粉管が長期にわたって伸長し続け胚珠に達するためとしている。

2. 受精の有無の早期判定

胚の発育を測定した結果、受精が明らかに確認されたのは受粉後40~50日で、その時の最大胚の巾は1mm

以上であった。しかし、受粉後40~50日までは花粉を遮断した無受精胚も生長を続け、最大胚の巾は1mm程度までになった。久保(3)、中村(7)も同様な結果を報告している。

中村(7)は'筑波'の中果の子室数は約8~9で側果は中果より約1室多く、1室内に2個の胚珠が存在した。そして、8月中旬(7月6日花柱が開き始めてから40日後)1個だけ肥大した胚珠が認められた。しかし、8月中旬までは全胚珠が等しく生長したと報告しており、本報告と同様な結果であった。

しかし、18~20個程度ある胚のうち、何故1個だけが受精肥大するのは明らかになっていない。品種によっては2個以上受精し、双子果となる率の高いものもある。この点については今後さらに解明する必要がある。

以上のことから、受粉後40~50日、7月下旬~8月上旬に側果で最大巾1mm以上に発育した胚が確認できれば受精したと考えてよい。後期落果終了の確認できる時期('筑波'例年8月中旬~下旬)より2~4旬早く受精率を知ることが可能である。

3. 果実肥大と生長曲線

渋皮付果肉重が急激に肥大する満開後の日数と受精胚が急激に生長する時期には若干のズレがみられた。'丹沢'は収穫まで肥大を続け'筑波'、'石鎚'では収穫前やや生長が停滞した。このことについては星野(11)の結果と一致した。

一井(1)は、クリ穂果の発育はdouble-sigmoid曲線となることを報告している。そこで、ロジスティック

曲線に当てはめたところ, 単年度ではよく適合したが, m, a 値ともに品種と年次間差が大きく, m 値は早生種ほど小さかった。 a 値は m 値ほどの年次間差は少なく, m 値と異なり早生種がやや大きかった。 m および a 値の果実発育上の意義については今後検討する必要がある。‘丹沢’では推定値と実測値の差が大きく‘筑波’, ‘石鎚’でも差がみられた。したがって, 3年間の結果からはロジスティック曲線を単純に予測式として使用することは困難と考えられた。

また, 渋皮付果肉重の肥大を直交多項式に当てはめたところ, ‘丹沢’では1次または2次, ‘筑波’では2次または4次, ‘石鎚’では2次曲線で表わされた。年次間差がみられ, その寄与率が低いことから, 予測式として使用することは困難であった。果実のサンプリング方法, 時期, 回数など再度検討する必要がある。

このように果実の生長曲線はロジスティック曲線や直交多項式で表すことができた。しかし, 単年度ではよく適合したが, 係数の年次変動が大きいことや寄与率が低いことから, 予測式として使うことが難しかった。

V. 摘要

クリ胚の受精の有無を早期に判定するために, 受精時期と胚の発育を調査した。また, 果実の発育を経時的に測定し, 果実肥大曲線を求めた。その結果は次のとおりであった。

1. 受粉後10日おきに柱頭を切断し, 受精時期を検討した結果, 受粉後30日以降結実率が無処理と差がなかったことから, 受精時期は受粉後30日であった。
2. 受粉後10日おきに胚の発育(巾)をマイクロメーターで測定した結果, 受精胚と無受精胚の差は最大巾1mmにあった。これは受粉後40~50日明らかになった。
3. 果肉重の肥大はロジスティック曲線に適合した。

しかし, m, a 値は年次変動が大きく予測式としては不十分であった。

4. 直交多項式では1~4次曲線で表されたが, 寄与率は低かった。

引用文献

1. 一井隆夫.1960.クリの毬果の発育について(第1報) 毬果の発育に伴う2,3の成分の推移.園学雑.29:29-34.
2. 海老原武士・青木秋広・坂本秀之.1961.クリの落果に関する研究(第1報)生理的落果の波相と, 2,3の要因について.園学雑.30:341-346.
3. 久保敏郎.1988.クリの結実肥大要因の解明.山口農試験報.40:65-73.
4. 佐久間文雄・渡辺幸夫.1989.クリの生育・成熟・収量予測に関する研究(第1報)クリの生育・収量・品質に及ぼす気象要因の影響.茨城園試報.14:49-77.
5. 佐久間文雄・多比良和生・保坂光良・石塚由之・渡辺幸夫.1990.クリの低樹高整枝せん定に関する研究(第2報).結果母枝の形質並びに密度が収量・果実肥大に及ぼす影響.茨城園試報.15:1-26.
6. 志村勲.1972.果樹園芸学大辞典.p790.養賢堂.東京.
7. 中村正博.1986.ニホングリの胚珠の発育について.園学雑.55:251-257.
8. 中村正博.1991.ニホングリの生理的落果と胚珠の退化.園学雑.60:47-53.
9. 中村正博.1992a.ニホングリの花柱の伸長と受粉適期.園学雑.61:265-271.
10. 中村正博.1992b.ニホングリの柱頭の構造と花粉発芽.園学雑.61:295-302.
11. 星野正和.1982.クリ栽培技術.果樹栽培の総合技術(下).今月の農薬.26(4).p138.化学工業日報社.東京.