

ゴレンシ (*Averrhoa carambola* L.) の酸味系品種と甘味系品種間交雑実生葉における シュウ酸と数種無機成分含有量の関係

兼田朋子^{1*}・馬場 正²・大坪孝之²・池田富喜夫²

¹ 東京農業大学応用生物科学部 156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

² 東京農業大学農学部 243-0034 神奈川県厚木市船子 1737

Relationship among Oxalic Acid and Some Mineral Contents in the Leaves of Hybrid Seedlings between Tart and Sweet Cultivar of Carambola (*Averrhoa carambola* L.)

Tomoko Kaneta^{1*}, Tadashi Baba², Takayuki Ohtsubo² and Fukio Ikeda²

¹ Faculty of Applied Bio-Science, Tokyo University of Agriculture, Sakuragaoka, Setagaya 156-8502

² Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture, Funako, Atsugi 243-0034

Summary

The difference in oxalic acid content between tart and sweet cultivars of carambola (*Averrhoa carambola* L.) was examined, specifically the difference of total oxalic acid content in leaves, and the proportion of insoluble oxalic acid of total oxalic acid content in fruits. We thought that taste acidity could be reduced by decreasing the proportion of the soluble oxalic acid content in the total oxalic acid content of carambola fruits. The relationships among oxalic acid, potassium, calcium and magnesium contents in leaves were examined in hybrid seedlings of tart and sweet cultivars of carambola. Total oxalic acid content closely correlated with insoluble oxalic acid content. The correlation coefficient between insoluble oxalic acid and calcium content was highly significant compared with potassium and magnesium. These results suggested that the total oxalic acid content in leaves was strongly influenced by the calcium content, and it appears to be decreased by the regulation of calcium content.

キーワード：ゴレンシ，カルシウム，無機成分，相関関係，シュウ酸含有量

緒 言

ゴレンシ (*Averrhoa carambola* L.) は、外観、食味のユニークさに加え、咳を鎮める、利尿 (小川, 2000)、熱冷まし、のどの乾き止め (塩田, 1984)、二日酔いの改善など (Hutton, 1998) といった機能性も持ちあわせており、消費拡大が期待される熱帯果樹の一つである。しかしながらゴレンシの酸味はその大部分がシュウ酸で構成されている (Campbell・Koch, 1989)。シュウ酸は可溶性の形で大量に摂取すると、体内に吸収されカルシウムと結合し、結石などの原因になると言われており (伊藤, 2001)、他作物においても、シュウ酸の低減が求められている。

筆者らは、先にゴレンシのシュウ酸含有量について、品種や部位ごとにシュウ酸の組成が異なり、葉においては生育ステージの進行とともに酸味系品種では可溶性シュウ酸が、甘味系品種では不溶性シュウ酸の全シュウ酸含

有量に対する割合が増加し、一方果実では全シュウ酸に占める可溶性シュウ酸含有量の割合が酸味系品種で顕著に高いことを明らかにした。また、ゴレンシにおけるシュウ酸生成は、主に展開葉におけるグリオキシル酸経路に依存していると考察した。この結果から、栽培的にグリオキシル酸酸化酵素の活性を抑制し、低シュウ酸化を試みることを検討したが、光合成反応を阻害することで植物体の衰弱ひいては、収量および果実品質の低下などの弊害が発生する可能性があることから、シュウ酸の絶対量を低減させるのではなく、全シュウ酸含有量に占める可溶性シュウ酸の割合を低下させることで、食味の・保健的な減酸を図ることを提案した (兼田ら, 2004)。

そこで本報では、酸味系品種および甘味系品種の交雑実生苗を育成し、F₁ 世代におけるシュウ酸含有量、シュウ酸の不溶性化に関わる無機成分の含有量およびシュウ酸含有量と無機成分含有量の関係について検討した。

2004年5月18日 受付, 2004年11月12日 受理

*Corresponding author. E-mail: t1kaneta@nodai.ac.jp

現在：東京農業大学短期大学部生物生産技術学科

材料および方法

材料には、東京農業大学果樹園芸学研究室圃場ガラス温室内で栽培されたゴレンシ樹、酸味系品種(品種名不詳)と、甘味系品種(品種名不詳)の交配により得られた交雑種子を供試した。種子は次亜塩素酸ナトリウム水溶液に10分間浸漬し、消毒を行った。種子を水洗後、2000年4月に滅菌したバーミキュライトを培土としてバット内に播種し、昼夜温27℃、明期13時間、暗期11時間の条件に設定したインキュベータ内に置いた。発芽後、F₁交雑実生(以下交雑実生とする)を約1週間でポットへ移植し、その後は生育に合わせて随時鉢替えを行った。発芽から約6か月後に、インキュベータからガラス温室へ移動させ、約2年後の2001年8月にシュウ酸含有量および無機成分含有量測定用の試料として、得られた交雑実生75個体を実験に供試した。

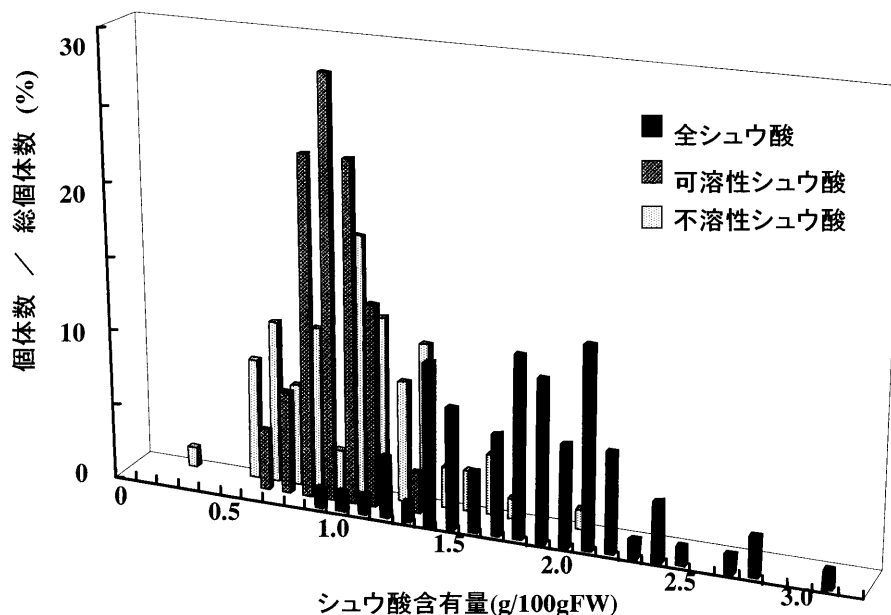
緑色展開葉を株全体からまんべんなく採取し、磨砕した中から一定量を量り取り、前報(兼田ら、2004)におい

てシュウ酸の抽出に用いた方法と同様の手順で試料の調整を行い、シュウ酸ならびに無機成分含有量を測定した。抽出に用いた塩酸の濃度は4N、また抽出時間は7分間とした。シュウ酸含有量の測定には、高速液体クロマトグラフィー(島津製作所製LC6A)を用い、前報と同じ条件で分析を行った。また、無機成分含有量の測定には、原子吸光光度計(島津製作所製AA-6500F)を用い、カリウム、カルシウムおよびマグネシウムについて、それぞれ766.5 nm、422.7 nmおよび285.2 nmでの吸光度を測定した。

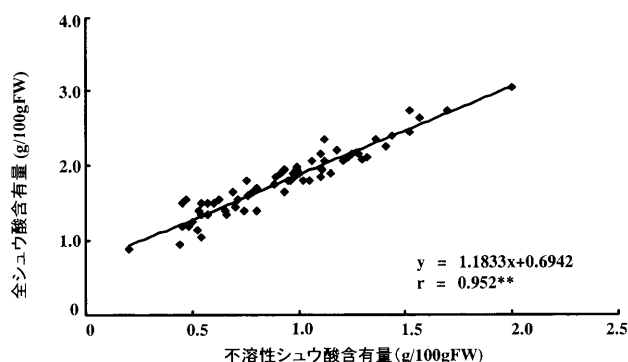
結 果

1. シュウ酸含有量

交雑実生における全シュウ酸含有量は、最大値3.05 g/100 gFW、最小値0.88 g/100 gFW、平均値1.82 g/100 gFWであった(第1図)。可溶性シュウ酸含有量は、最大値1.23 g/100 gFW、最小値0.51 g/100 gFW、平均値0.86 g/100 gFWであった。不溶性シュウ酸含有量は、最大値

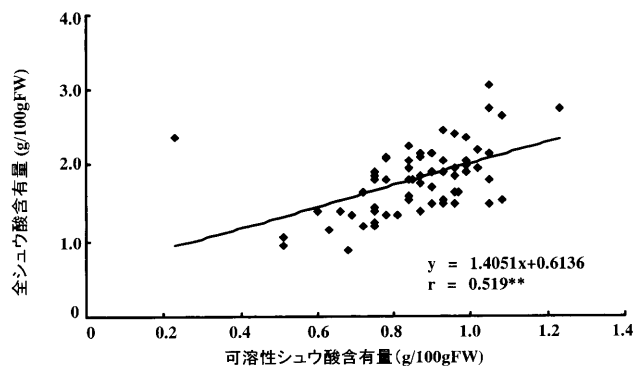


第1図 ゴレンシ交雑実生におけるシュウ酸含有量の分布 (n=75)



第2図 ゴレンシ交雑実生における全シュウ酸含有量と不溶性シュウ酸含有量の関係 (n=75)

** 1% レベルで有意



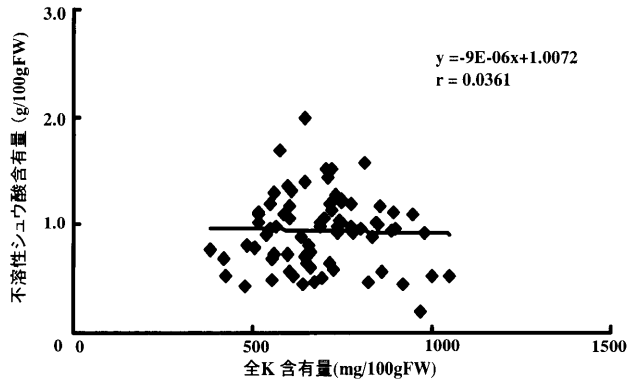
第3図 ゴレンシ交雑実生における全シュウ酸含有量と可溶性シュウ酸含有量の関係 (n=75)

** 1% レベルで有意

2.00 g/100 gFW, 最小値 0.20 g/100 gFW, 平均値 0.95 g/100 gFWであった.

2. シュウ酸の形態間相関

全シュウ酸含有量と可溶性および不溶性シュウ酸含有量との関係を検討した結果, 可溶性シュウ酸, 不溶性シュウ酸いずれにおいても, 全シュウ酸との間に 1% レベル

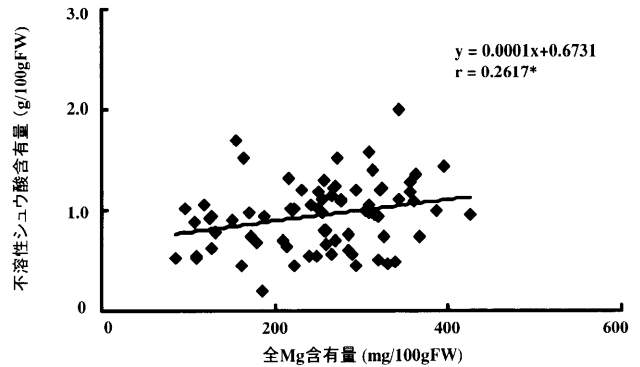


第4図 ゴレンシ交雑実生における不溶性シュウ酸含有量と全カリウム含有量の関係 (n=75)

で正の相関が得られたが, 特に不溶性シュウ酸含有量との間に高い相関が認められた (第2, 3図).

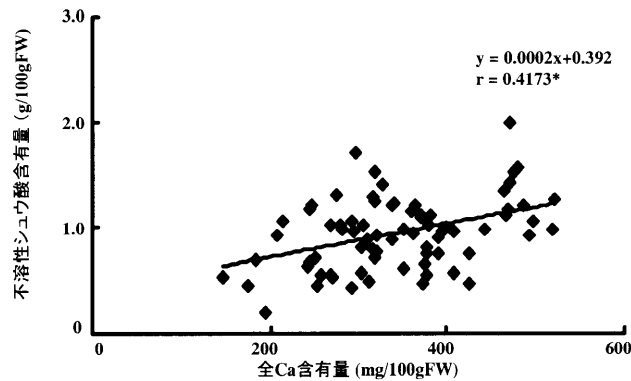
3. 不溶性シュウ酸含有量と無機成分含有量との関係

全カリウム, 全カルシウムおよび全マグネシウムのいずれの無機成分が, より不溶性シュウ酸含有量に影響を



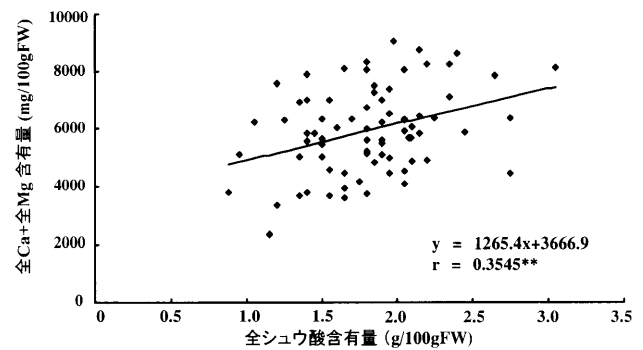
第6図 ゴレンシ交雑実生における不溶性シュウ酸含有量と全マグネシウム含有量の関係 (n=75)

* 5% レベルで有意



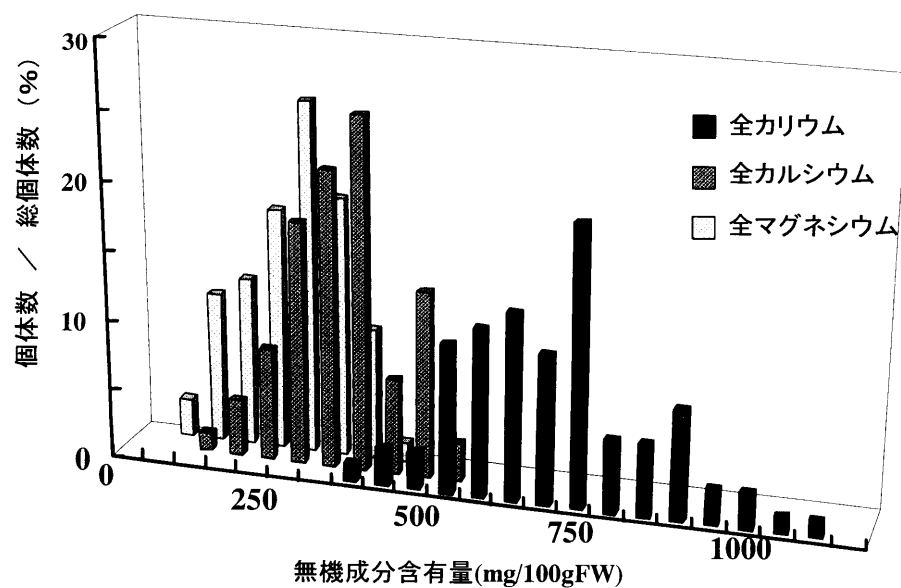
第5図 ゴレンシ交雑実生における不溶性シュウ酸含有量と全カルシウム含有量との関係 (n=75)

*5% レベルで有意



第7図 ゴレンシ交雑実生における全カルシウムと全マグネシウムの総含有量と全シュウ酸含有量との関係 (n=75)

** 1% レベルで有意



第8図 ゴレンシ交雑実生における無機成分含有量の分布 (n=75)

及ぼしているかについて検討した(第4, 5, 6図). その結果, 不溶性シュウ酸含有量は全カルシウムおよび全マグネシウムそれぞれにおいて正の相関が得られ, 全カルシウムでより高い相関が認められた(第5, 6図). また全カリウムについては, いずれの形態のシュウ酸との間にも相関は得られなかった(第4図).

4. 全カルシウムおよび全マグネシウム総含有量と全シュウ酸含有量との関係

全カルシウム, 全マグネシウムの総含有量と全シュウ酸含有量との相関を, 無機成分各々の場合の相関と比較した. その結果, 総含有量との間においても正の相関は得られたものの, その値は全マグネシウム単独の場合と比較して大きい, 全カルシウム単独と比較して小さいものであった(第7図).

5. 無機成分含有量

カリウム含有量は, 最大値 1052.7 mg/100 gFW, 最小値は 380.4 mg/100 gFW, 平均値 690.1 mg/100 gFW であった(第8図). カルシウム含有量は, 最大値 522.0 mg/100 gFW, 最小値は 146.3 mg/100 gFW, 平均値 344.4 mg/100 gFW であった. マグネシウム含有量は, 最大値 425.1 mg/100 gFW, 最小値 85.7 mg/100 gFW, 平均値 252.1 mg/100 gFW であった. 無機成分は, カリウム>カルシウム>マグネシウムの順に多いことが明らかになった.

考 察

ゴレンシの交雑実生 75 個体のシュウ酸の形態別分布と, 全シュウ酸含有量と不溶性, 可溶性シュウ酸含有量との関係をみた. 交雑実生におけるシュウ酸含有量は, 可溶性シュウ酸含有量のばらつきが小さかったのに対し, 不溶性シュウ酸含有量および全シュウ酸含有量はばらつきが大きかった. 親個体のシュウ酸含有量は, 酸味系品種では全シュウ酸含有量 7.64 g/100 gFW, 可溶性シュウ酸含有量 4.32 g/100 gFW, 不溶性シュウ酸含有量 3.32 g/100 gFW であり, 甘味系品種では全シュウ酸含有量 3.72 g/100 gFW, 可溶性シュウ酸含有量 0.96 g/100 gFW, 不溶性シュウ酸含有量 2.76 g/100 gFW であった(兼田ら, 2004). 交雑実生の全シュウ酸含有量および不溶性シュウ酸含有量は親個体と比較して低かった. また, 交雑実生の可溶性シュウ酸含有量は甘味系品種に近い値であった. 今回供試した交雑実生は F_1 世代であり, また樹体も 2 年生と若いため, 低シュウ酸個体が選抜されたとは明言できないが, 今後, 育種を継続していくことで低シュウ酸品種を得られる可能性がある.

また, ゴレンシにおける全シュウ酸含有量は, 不溶性シュウ酸含有量の多少で左右されていることが明らかになった. 全カルシウムおよび全マグネシウム含有量と, 不溶性シュウ酸含有量との間に正の相関が得られ, 特に全カルシウム含有量との間でより高い相関が得られた. こ

のことから, シュウ酸の不溶性化には, カルシウムおよびマグネシウムが関与し, 中でもカルシウムがより大きな影響を及ぼしていることが推察された. ホウレンソウにおいては, カチオンの濃度の和とシュウ酸濃度との間に有為な相関が認められたとする報告があるが(杉山・広岡, 1992), ゴレンシにおいても同様の結果が得られたことになる(第7図). しかし, 杉山・広岡の実験ではカルシウム濃度とシュウ酸濃度の関係は認められておらず, 本実験とは異なる結果であった. 低シュウ酸含有個体は不溶性化に関与しているカルシウムおよびマグネシウムの含有量の少ない傾向がある(第7図). つまり, 生成したシュウ酸を不溶性化して蓄積する能力が乏しいとも考えられ, そのことが全シュウ酸の含有量の多少に影響している可能性がある. また, 高シュウ酸含有個体はそれらの無機成分の含有量も多く, 過剰なシュウ酸を不溶性の形に変えて蓄積することで, 生体内の可溶性シュウ酸含有量を低濃度に保ち, シュウ酸害から身を守っていると推定される.

イチゴ(Wasna ら, 1999) やリンゴ(Raese・Drake, 2000)では, カルシウム葉面散布により果実硬度が高まることが報告されている. すなわち葉から果実へカルシウムが転流する可能性を示しており, ゴレンシにおいても, 不溶性シュウ酸含有量を制御する方策の一つとして, カルシウム施用により果実へ転流するカルシウムを増大させ, シュウ酸の不溶性化を促進させる可能性が考えられる.

植物は, 生成した過剰なシュウ酸を細胞質から排除するために, 液胞中でカルシウムと結合させ, シュウ酸カルシウム結晶の形にして, 細胞活性を保持すると言われている(Raven・Smith, 1976). 人見ら(1993)はホウレンソウの栽培において, 十分量のカルシウムが供給されない場合, 水溶性シュウ酸がホウレンソウに蓄積されてその発育を阻害すると述べている. また, 塩化カルシウム濃度が高いほど, シュウ酸量も多く, その大部分が不溶性であることを報告している. いくつかの植物においてシュウ酸カルシウム結晶の観察が報告されており(石井・滝山, 1990・1994; Watanabe・takahashi, 1998), ゴレンシにおいてもシュウ酸カルシウム結晶の存在が予想される.

今回の交雑実生葉の分析結果では, シュウ酸の約 5 割が不溶性の形で存在したが, 甘味系品種の完熟果ではシュウ酸の 8 割以上を不溶性の形で持つことを筆者らは報告しており(兼田ら, 2004), シュウ酸および無機成分は, 含有量だけでなくその存在形態にも器官別の差異があり, 葉よりも果実の不溶性シュウ酸含有量の割合が多いという結果から, 生成されたシュウ酸は果実においてより多くの量が不溶化され, 蓄積されているものと思われる.

摘 要

ゴレンシの酸味系品種と甘味系品種を親として酸味系×甘味系品種の種子を得て、F₁交雑実生を得た。播種後2年目にそれらの個体の葉を供試し、シュウ酸含有量、シュウ酸の不溶性化に関与していると思われる無機成分含有量について分析した。

交雑実生における全シュウ酸含有量と可溶性・不溶性シュウ酸含有量との関係を検討した結果、いずれにおいても正の相関が得られたが、特に不溶性シュウ酸含有量との間に高い相関が認められた。

交雑実生のシュウ酸含有量と無機成分含有量との関係を検討した結果、全シュウ酸および不溶性シュウ酸含有量と全カルシウムおよび全マグネシウム含有量との間で正の相関が得られたが、不溶性シュウ酸と全カルシウム含有量との間でより高い相関が認められた。

以上のことから、シュウ酸の不溶性化にはカルシウム含有量が大きな影響を及ぼしていると考えられた。今後、ゴレンシのカルシウム含有量を制御することで果実内のシュウ酸の形態を変えることが可能になるかもしれない。

引用文献

- Campbell, C. A. and K. E. Koch. 1989. Sugar/acid composition and development of sweet and tart Carambola fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 114: 455-457.
- 人見英里・玉置美子・友枝幹夫. 1993. ホウレンソウのシュウ酸代謝に関する研究. 園学雑. 61: 431-435.
- Hutton, W.. 1998. Tropical fruits of Thailand. Asia Books: p. 34.
- 石井裕子・滝山一善. 1990. 植物中のシュウ酸カルシウム結晶の形態と結晶水. 分析化学. 39: 145-149.

石井裕子・滝山一善. 1994. ごま中のカルシウム、シュウ酸及びカルシウム結晶の分離抽出. 分析化学. 43: 151-155.

伊藤晴夫. 2001. 栄養学的にみた尿路結石症. ホルモンと臨床. 49(1): 23-30.

兼田朋子・馬場 正・大坪孝之・池田富喜夫. 2004. ゴレンシ (*Averrhoa carambola* L.)におけるシュウ酸含有量の品種間差異およびシュウ酸生成関連酵素活性. 園学研. 3: 415-419.

小川一紀. 2000. 熱帯果樹の機能性. 今月の農業. 1月号: p. 90.

Raese J. T. and Drake S. R.. 2000. Effect of Calcium of Spray Materials, Rate, Time of Spray Application, and Rootstocks on Fruit Quality of 'Red' and 'Golden Delicious' Apple. J. Plant Nutrition. 23: 1435-1447.

Reven, J. A. and F. A. Smith. 1976. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. New Phytol. 76: 415-431.

塩田春彦. 1984. スターフルーツ. 香料. 143: 37-43.

杉山信夫・広岡幹也. 1992. ホウレンソウの葉におけるシュウ酸濃度と還元窒素濃度との関係. 園学雑. 61: 569-574.

Wasna N. P., Kawada K., Matsui T. and Kusunoki M.. 1999. Effect of Preharvest Calcium Application on Postharvest Quality of 'Nyoho' Strawberries. Food Preservation Sci.. 25: 63-68.

Watanabe, K. and B. Takahashi. 1998. Determination of soluble and insoluble oxalate contents in Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) and related species. J. Japan. Soc. Hort. Sci.. 67: 299-305.