

気温からブドウの着色程度を推定する方法について

農研機構果樹茶業研究部門
生産・流通研究領域

杉浦 俊彦

はじめに

果樹における温暖化の影響はすでに顕著に現れている。近年の高温傾向はすでに多くの樹種で開花期や収穫期、また、リンゴでは品質 (Sugiura *et al.* 2013) に長期的な変化を及ぼしていることが認められる。ブドウの生育や品質も気候変動は大きな影響を及ぼしており、とくにわが国では着色不良の発生増加が大きな問題になっている (Sugiura *et al.* 2012)。

ブドウ果皮のアントシアニン合成は高温により抑制される着色不良発生の要因であり、黒系の生食用ブドウである‘巨峰’や‘ピオーネ’の着色不良果は、「赤熟れ」と呼ばれ市場価値が低い。そのため、着色不良を克服するために環状剥皮 (藤島ら 2005)、着果制限 (山根ら 2007)、ABA 処理 (Kataoka *et al.* 1982) といった技術が開発されている。しかし、これらの対策にはそれぞれ副作用があり、環状剥皮は新根発生を抑制し (Yamane & Shibayama 2006)、樹勢低下の原因になる。着果制限は減収、ABA 処理は生産コストの増加につながる。しかも、こうした対策は収穫の1ヶ月以上前に講じる必要があり、その時点で着色不良の発生予測は容易ではない。こうしたことが、対策技術の普及を阻害する大きな要因となっている。

もし、収穫期における着色の程度を予測することができれば、着色低下対策を講じる必要がある年のみ対策を講

じることが可能となり、副作用を最小限にとどめられる。果皮の着色と気温の関係を定式化されれば、気温の予測値から着色の予測が可能になり、また将来の気候変動の影響評価にも利用できる。

これまで、果皮の着色と気温の関係は人工気象室における実験 (Shinomiya *et al.* 2015; 苦名ら 1979) で調べられているものの定量化されておらず、また特定の地域の圃場での実測データからの定式化 (内藤ら 1986) が試みられているが、その結果が全国の圃場に適用できる保証がない。

‘巨峰’と‘ピオーネ’は日本の生産量1, 3位の品種であり、‘涼香’は新品種であるが、これらの外観は似て成熟すると黒くなる。本研究 (Sugiura *et al.* 2018) では、日本の多くのブドウ産地において‘巨峰’と‘ピオーネ’、‘涼香’の着色を実測することにより、わが国において広域的に利用可能な果皮の着色と気温の関係式を得た。これにより農家による着色改善策を実施すべきかの判断の一助とすることを目標とする。

材料および方法

(1) 供試材料と圃場調査

‘巨峰’、‘ピオーネ’、‘涼香’について、開花盛期、収穫盛期および収穫盛期における果皮色を2011年から2015年まで5年間、18府県 (茨城、栃木、石川、山梨、長野、三重、京都、

大阪、奈良、鳥取、島根、岡山、広島、徳島、香川、愛媛、福岡、鹿児島) の公設研究機構果樹試験研究機関における調査結果を解析した。

樹は3 (2011) ~ 7 (2015) 年生で、多くは被覆施設 (雨よけ施設、トンネル、無加温ハウスのいずれか) で栽培されたものであるが、一部に露地栽培のものがあり、すべて1~2回のジベレリン処理 (GA₃, 25ppm) による無核栽培とした。土壌管理や着果量は、各県の指針に従った。

満開期は80%以上開花した花穂が全体の80%以上になった日とした。果房の収穫期は主に知覚された香り で判定し、収穫期 (収穫盛期) は累積で50%の果実を収穫した日とした。果皮色 (0 = 緑 ~ 12 = 黒) は収穫期に10果房から10粒ずつサンプリングして、市販の黒・赤系用カラーチャートと比色して求められた。

(2) 果皮のアントシアニン含量の計測

2011年度については各地域から収集した1, 2房について果皮色とアントシアニン含量を測定した。アントシアニン含量の測定は白石らの方法 (Shiraishi *et al.* 2007) を改変して行った。上述の方法で果皮色を調査した後、同じ房の10粒の果皮の赤道部から約0.1gずつの果皮をとり、キムタオルで乾かしたのち、50%酢酸20mLに暗黒下4°Cで12時間浸漬し、濾紙 (No.2) で濾過した。このうち濾液1mLについて分光光度計で

表-1 満開・収穫期について、すべての府県・年次の平均値

	n ^z	満開期 ^y	収穫期 ^x	成熟日数 ^w	果皮色 ^v
'巨峰'	53	149.4±8.0 ^u	241.6±12.3	92.5±9.0	8.6±1.3
'ピオーネ'	47	150.6±8.6	245.4±14.0	95.0±10.2	7.6±1.2
'涼香'	48	149.7±9.7	237.3±13.1	87.6±11.3	9.2±1.3

^z データ数.

^{y,x} 通日 (1月1日を1とする)

^w 満開期から収穫期までの日数

^v 収穫期のカラーチャート値.

^u 平均値 ± SD (標準偏差)

520nm の吸光度を計測し、果皮 1g 当たりの cyanidin-3-monoglucoside 相当量を求めた。

(3) 気候データ

調査圃場の気象データはアメダスメッシュ化データ (清野 1993) のうち調査圃場のあるメッシュの日平均気温を用いた。このデータベースは気象庁のアメダス観測値を空間分解能 1km メッシュ (経度 45" × 緯度 30") に展開したものである。

結果および考察

(1) 3 品種の果皮色の比較

調査結果の概要を表-1 に示した。調査年次や調査地点に品種間差があるため、直接の比較はできないが、満開期の平均は 3 品種とも 5 月の下旬で、品種間差は 1 日程度であった。しかし、成熟日数と収穫期は 1 週間程度異なった。収穫期は '巨峰' と比べ 'ピオーネ' は約 4 日遅く、'涼香' は約 4 日早かった。平均の果皮色は '涼香'、'巨峰'、'ピオーネ' の順に高かった。

'巨峰' の果皮色と収穫前 40 日間の平均気温の関係を図-1A に示した。24°C までは気温と果皮色の間に明確な関係は見られなかったが (白丸)、24°C 以上では高温になるほど果皮色が有意に低下した (黒丸 + 黒四角)。その回帰式の傾きは -1.003 で、気温が 1°C 上がるごとに果皮色は 1 程度低下した。

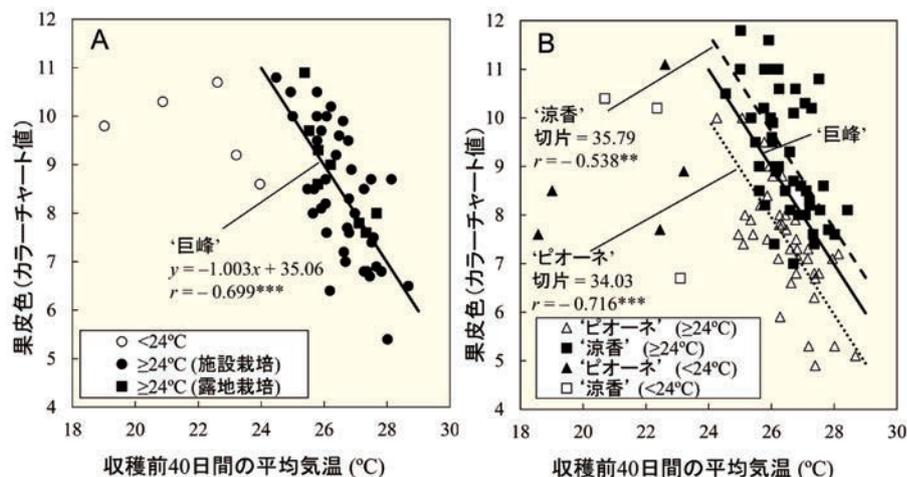


図-1 収穫期の果皮色 (カラーチャート値) と収穫前 40 日間の平均気温との関係 (A) '巨峰'。直線は 24°C 以上の回帰線 (被覆施設栽培と露地栽培は込み) を示す。

(B) 'ピオーネ' と '涼香'。

直線は傾きを '巨峰' の傾き (= -1.003) と一致させたときの 24°C 以上の回帰線と Y 切片を示す。比較のため、(A) の '巨峰' の回帰線も示した。r は相関係数 (** P < 0.01; *** P < 0.001)。

ブドウは高温ほど着色が劣ることは古くからよく知られており、'巨峰' においても収穫期前 40 日間の気温が高いと着色が低下することが示されている (内藤ら 1986; 苦名ら 1979)。一方で、人工的に温度処理した研究では、気温が低すぎても着色しにくいことが報告されている (Poudel *et al.* 2009)。24°C 以下で果皮色と気温に相関がないのは、気温が低すぎて着色が進まない日が多くなることが原因と考えられた。

露地栽培では回帰線の上側に位置するデータが多く、施設栽培よりも果皮色がよい傾向にあったものの、データ数が少なく、必ずしも明確ではなかった。そこで以下の解析では 24°C 以上のデータはすべて込みで行った。

'ピオーネ' と '涼香' の果皮色も、

収穫期前 40 日間の平均気温が 24°C 以上では、高温になるほど果皮色が低下する傾向が認められ (図-1B)、24°C 以上では有意な負の相関があったが、24°C 未満では相関はなかった。'ピオーネ' (-0.891) と '涼香' (-0.802) の回帰式の傾きは、'巨峰' の傾き (-1.003) とは有意差はなかった (P 値は 'ピオーネ' 0.647, '涼香' 0.390)。

そこで、果皮色と気温の関係の品種間差を求めため、'ピオーネ' と '涼香' について、'巨峰' と同じ傾きを仮定して回帰式を求めた (図-1B)。このときの切片は品種により有意に異なり (P 値は 'ピオーネ' 0.000 '涼香' 0.001)、切片の差から、収穫期前 40 日間の平均気温が同じであれば、'巨峰' に比べて 'ピオーネ' の果皮色

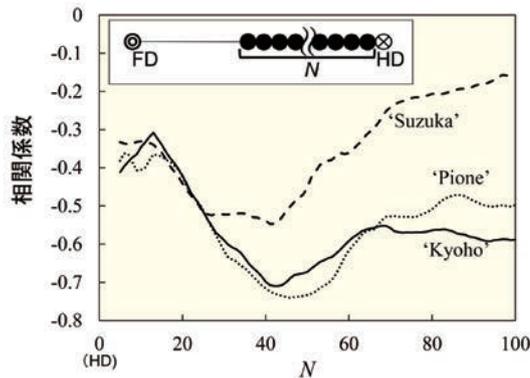


図-2 収穫期の果皮色（カラーチャート値）と収穫前N日間の平均気温との相関係数の変化（挿入図参照）FDは満開期、HDは収穫期。

は1.0低く、‘涼香’は0.7高いことが示された。今回の結果から、‘涼香’、‘巨峰’、‘ピオーネ’の順に着色しやすいと考えられた。

‘涼香’は高温条件下で着色が優れることを目指して育成された品種であり、その目的は達成されていることが示唆された。回帰式（図-1B）から逆算すると、‘涼香’は0.7°C高温でも、‘巨峰’と同程度の果皮色になるといえる。

(2) 果皮色の予測式

もし収穫期とそれまでの気温が予測できれば、図-1に示した回帰式を用いて収穫期の果皮色の予測が可能である。しかしながら、収穫期の予測法は必ずしも確立しているとはいえないため、開花期を基準とした収穫期の着色の予測法を検討した。この分析には上記のデータのうち24°C以上のものを用いた。

まず、平均気温と収穫期の着色の相関が最も強くなる期間（気温感受性がある期間）を品種毎に推定した。この期間を特定するため、収穫前N日間の平均気温と果皮色の関係の相関係数を求めた（図-2）。「巨峰」ではN=43、「ピオーネ」ではN=46、「涼香」ではN=42のときの相関が、最も強くなった。この日の各回帰式の傾きと

表-2 収穫期の果皮色（カラーチャート値）と収穫前N日間の平均気温の関係。相関が最も強いとき（図-2の最小値）の相関係数と回帰式を示す。

	‘巨峰’	‘ピオーネ’	‘涼香’
r^z	-0.710	-0.726	-0.547
	*** y	***	** x
N ^w	43	46	42
傾き ^v	-1.06	-1.01	-0.81
切片 ^v	36.5	34.2	30.7

^z 相関係数。

^y rは0.1%水準で有意

^x rは1%水準で有意

^w rが最小の時のN

^v 回帰係数 ($y = ax + b$, yは収穫期の果皮色, xは収穫前N日間の平均気温, aは傾き, bは切片)。

切片は表-2に示した。

次に、満開期M日後から‘巨峰’では43日間、‘涼香’では42日間、‘ピオーネ’では46日間の気温と果皮色との相関係数を求めた（図-3）。「巨峰」ではM=50、「ピオーネ」ではM=46日するとき相関係数が、最も小さくなった。

‘涼香’の相関係数（図-4）は2つのピーク（52日と65日）があったものの、このうちMが65日では強い相関の終わりが満開後106日となり、平均成熟日数（ 87.6 ± 11.3 日；表-1）よりかなり遅い。そのため、果皮色予測のためのMは52日を採用した。

このときのそれぞれの品種の回帰式の切片と傾きを表-3に示した。この回帰式

は収穫期の果皮色予測に使用できる。この結果から得られた着色推定のための感温期間は、‘巨峰’の場合、満開後50日からの43日間となるが、その期間の終わりは、平均収穫日（満開後92.5日）に近かった。‘ピオーネ’も同様であった。

果皮色に温度が及ぼす影響はベレ

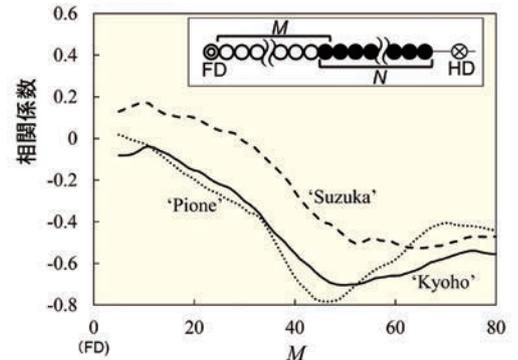


図-3 収穫期の果皮色（カラーチャート値）と満開後M日からN日間（‘巨峰’は43日間、‘ピオーネ’は46日間、‘涼香’は42日間）の平均気温との相関係数の変化（挿入図参照）FDは満開期、HDは収穫期。

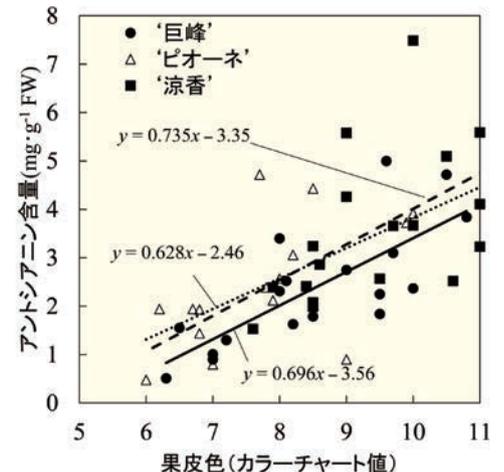


図-4 ブドウの果皮色（カラーチャート値）とアントシアニン含量との関係。直線は回帰線を示す。Rは相関係数（*** P < 0.001; * P < 0.05）。

ゾーン直後からとされる（Barunuud *et al.* 2014）。「巨峰」や「ピオーネ」のベレゾーンは満開後45～50日であるため、本研究で示された着色の感温期間の始め（‘巨峰’で満開後50日、‘ピオーネ’で46日）はベレゾーン期といえる。したがって、着色の感温期間は概ねベレゾーン期から収穫期という

表-3 収穫期の果皮色（カラーチャート値）と満開後M日からN日間（‘巨峰’:N=43、‘ピオーネ’:N=46、‘涼香’:N=42）の平均気温の関係。Mは相関が最も強いとき（図-3の最小値）の値を示す。

	‘巨峰’	‘ピオーネ’	‘涼香’
r^z	-0.705	-0.784	-0.504
	*** ^y	***	** ^x
M ^w	50	46	52
傾き ^v	-0.96	-1.05	-0.65
切片 ^v	33.9	35.3	26.6
RMSE ^u	0.93	0.73	1.09

^z 相関係数。

^y rは0.1%水準で有意

^x rは1%水準で有意

^w ‘巨峰’と‘ピオーネ’は相関係数が最小の時の、‘涼香’は相関係数が最初の負のピークの時のM値。

^v 回帰係数 ($y = ax + b$, yは収穫期の果皮色, xは満開M日後からN日間の平均気温, aは傾き, bは切片)。

^u 回帰式から推定した果皮色の実測値との予測誤差（誤差の二乗平均平方根）。

ことになる。

満開期を観測すれば、それ以降の気温の推定値と表-3の回帰式を用いて収穫期の果皮色予測が可能である。近年、気象庁は向こう28日間の都道府県ごとの気温予報を公式サイトで公表している (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/probability/index.html>)。28日以降は、日平均気温の平年値（過去30年間平均値）が使える。気象庁による予報と平年値から日平均気温の予測値を1kmメッシュで推定する手法も開発されている（大野ら2016）。

回帰式を得るために使用された感温期間の平均気温はすべて24°C以上だったので、この回帰式は低温の地域（感温期間の平均気温が24°C以下）では精度よく使用できない可能性がある。しかし、寒冷地では着色不良は発生しにくいので、実用上の問題はないと考えられる。

果皮色の予測と実測の予測誤差（RMSE）は0.7～1.1（表-3）であった。これは気温の予測が正確だとしても、果皮色は1前後の誤差が見込まれることを示す。誤差が発生する原因のひとつは、日射と考えられ、日射が多いほど果皮色は高くなる（Shinomiya *et al.* 2015）。本研究では地域年次によって日射量が異なり、また、露地と被覆施設でも異なる。日射量の影響を

モデルに取り込めばより精度の良い予測が可能となるが、今後の課題である。

栽培条件の違いも別の誤差の要因である。とくに着果量は果皮色への影響は大きい。‘涼香’の相関係数は他品種と比べて低く（図-2, 3）、RMSEは高い。これは、‘涼香’は新しい品種であり、着果量や収穫基準が明確になっていないことが原因かもしれない。‘涼香’の果皮色予測精度を上げるには、さらなる研究が必要である。

(3) 果皮のアントシアニン含量の推定

3品種の果皮色と果皮のアントシアニン含量は有意な正の相関があった（図-4）。ブドウの果皮の色彩とアントシアニン含量の関係は品種によって異なることが知られているため（Shiraishi *et al.* 2007）、品種別に回帰式を求めた。これらの回帰式と表-2または表-3の回帰式を用いれば、気温からアントシアニン含量を推定することも可能である。気温が1°C上昇した場合、‘巨峰’では果皮色が0.96（ $= 0.96 \times 1$ ）だけ減り、これはアントシアニン0.67（ $= 0.96 \times 0.696$ ）mg/gfwの減少に相当する。同じ気温上昇で、‘ピオーネ’は0.66 mg/gfw、‘涼香’は0.48 mg/gfwだけアントシアニン含量が減少すると推定された。

(4) 結論

以上により、ブドウの収穫期における果皮色およびアントシアニン含量を品種毎の特定の気温から予測する手法を開発した。これは、‘巨峰’では満開後50～92日、‘ピオーネ’では満開後46～91日、‘涼香’では満開後52～93日の平均気温の予測値と、表-3に示した傾き・切片を用いて、収穫期のカラーチャート値を推定するものである。この方法はブドウ農家の着色対策の必要性の有無の判定や研究者が温暖化によるブドウの品質に与える影響を予測するときに利用可能である。

謝辞

この記事は、農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」の支援を受けて実施した研究に関する論文（Sugiura *et al.* 2018）に基づいて作成しました。当事業にデータをご提供いただいた公設研究機関の関係各位に誌面を借りて御礼申し上げます。

引用文献

- Barnuud, N.N. *et al.* 2014. Berry composition and climate: Responses and empirical model. *Int. J. Biometeorol.* 58, 1207-1223.
- 藤島宏之ら 2005. 環状はく皮処理がブドウ‘ピオーネ’の果実品質に及ぼす影響. *園学研* 4, 313-318.
- Kataoka, I. *et al.* 1982. Effect of abscisic acid and defoliation on anthocyanin

accumulation in Kyoho grapes (*Vitis vinifera* L. × *V. labruscana* Bailey) . *Vitis* 21, 325–332.

内藤隆次ら 1986. ブドウ'巨峰'果実の着色に及ぼす気温および日照の影響. 島根大農研 20, 1–7.

大野宏之ら 2016. 実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象 16, 71–79.

Poudel, P.R. *et al.* 2009. Influence of temperature on berry composition of interspecific hybrid wine grape 'Kadainou R-1' (*Vitis ficifolia* var. *ganebu* × *V. vinifera* 'Muscat of Alexandria') . *J.Japan.Soc.Hort.Sci.* 78, 169–174.

清野 諭 1993. アメダスデータのメッシュ化

について. 農業気象 48, 379–383.

Shinomiya, R. *et al.* 2015. Impact of temperature and sunlight on the skin coloration of the 'Kyoho' table grape. *Sci.Hortic.* 193, 77–83.

Shiraishi, M. *et al.* 2007. A rapid determination method for anthocyanin profiling in grape genetic resources. *J.Japan.Soc.Hort.Sci.* 76, 28–35.

Sugiura, T. *et al.* 2013. Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change. *Scientific Reports* 3, 2418.

Sugiura, T. 2018. Prediction of skin coloration of grape berries from air temperature. *Hort J.* 87, 18–25.

Sugiura, T. *et al.* 2012. Overview of recent effects of global warming on agricultural production in Japan. *JARQ.* 46, 7–13.

苦名孝ら 1979. 樹上果実の成熟に及ぼす温度環境の影響 (第2報) . 園学雑 48, 261–266.

Yamane, T. & K. Shibayama 2006. Effect of trunk girdling and crop load levels on fruit quality and root elongation in 'Aki Queen' grapevines. *J.Japan.Soc.Hort.Sci.* 75, 439–444.

山根崇嘉ら 2007. ブドウ'安芸クイーン'の着色実態および 状態はく皮と着果量の軽減による着色改善. 園学研 6, 441–447.

田畑の草種

葛・国柶・裏見草 (クス)

(公財)日本植物調節剤研究協会
兵庫試験地 須藤 健一

この夏の猛暑を逃れようと、列車に乗って都会を離れる。窓の外のビル群を抜けると小高い丘や林、田圃と風景が変わる。変わった途端、鉄路の脇や道路の法面を、その脇にある電柱を、手入れの悪い林や竹林を、さらには目の前の山肌まですっぽり覆い尽くす草に出会う。「葛」である。

これはマメ科クス属の多年生草本。見てのとりの繁茂力で、1年に10m以上蔓を伸ばし、人手の入らない荒地などは瞬く間に覆い尽くされる。大きき10cm～15cmの浅い切れ込みのある丸い葉3枚を1軸につける3出複葉。花は大きな蝶形花で、花卉構造を学ぶにはもってこいである。

その花の美しさで「秋の七草」に上げられ、山上憶良は、
萩の花尾花葛花なでしこの花
をみなへしました藤袴朝顔の花 (巻8)
と詠った。

秋の七草は花を愛でる七草である。が、この葛は食用を始め用途は多い。小学校のウサギ当番で、明日の餌にと子供らが競って摘んだ葉。その根をつぶして澱粉をとり、何度も水に晒して灰汁を取り除いた吉野葛。葛の根を干した葛根。10mにもなる蔓を柔らかい内に切り取り、固くなる前に編み込む籠。煮てから発酵させ、そこから取り出した繊維で編んだ葛布。

とは言え、萬葉人もこんな歌を残している。

赤駒のい行きはばかり真葛原

何の伝て言直にしよけむ (巻12)

下の句は、言伝なんてじれったいことを言っていないでじかに会うのがいいに決まっているのに、というほどの意味だが、上の句は、元気な赤馬の行く手を阻むほどの葛が野を覆っているのですよ、だから言伝にしたのです、と下の句に続く。秋の七草で愛でられてはいるが、繁茂しすぎて邪魔になる草でもあったようである。

徒然草にもこんな一節がある。

「草は、・・・撫子。秋の草は、萩・薄・桔梗・萩・女郎花・藤袴・・・。葛・葛・朝顔。いづれも、いと高からず、さゝやかなる、牆に繁からぬ、よし。」(139段)

葛を除く他の「秋の六草」は吉田兼好をして庭に植えたい草として取り上げられているが、唯一、葛は例外で、背が高くなり垣に繁るからダメだという。万葉の時代から現代に至るまで、いつの時代でも大変な草であるようだ。

ちなみにこの葛、1876年に米国フィラデルフィアに持ち込まれた。飼料作物、庭園装飾、緑化、土留めなどに推奨されたが想像以上に繁茂し、「デビル・プランツ」としてその隆盛を誇っている。