

[Research Note]

ブドウ栽培に関する気象指標を用いた日本の地理的分類

鬼頭昂宏¹・石川勇人¹・鈴木智博²・斉藤史恵¹・久本雅嗣¹・奥田 徹^{1*}

¹山梨大学ワイン科学研究センター 〒400-0005 山梨県甲府市北新 1-13-1

²山梨大学大学院総合研究部工学域 〒400-8510 山梨県甲府市武田 4-4-37

Geographical classification of Japan by climate indexes for grape cultivation growing

Takahiro KITO¹, Yuto ISHIKAWA¹, Tomohiro SUZUKI², Fumie SAITOH¹,
Masashi HISAMOTO¹, and Tohru OKUDA^{1*}

¹The Institute of Enology and Viticulture, University of Yamanashi,
1-13-1 Kitashin, Kofu, Yamanashi 400-0005 Japan

²Graduate school, Department of interdisciplinary research, Division of Engineering,
University of Yamanashi, 4-4-37 Takeda, Kofu, Yamanashi 400-8510, Japan

The climate of vineyards is one of the most crucial factors influencing wine grape quality. Because grape characteristics are strongly dependent on regional climate, research of the relationship between climate and grape variety has been conducted around the world for a long time. However, there is no such precedent in Japan. In this study, we classified regions in Japan on the basis of climate data obtained from AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System). The classification was carried out using four ways based on previous studies: Winkler index (WI), Huglin index (HI); biologically effective degree-days (BEDD); and growing season temperature (GST). As a result, Japanese vineyards could be classified into several regions.

Key words: Climate, geographic, Grape, Index

緒 言

ブドウの栽培地の気象は原料ブドウの品質を決定する重要なファクターの一つであり、結果としてワインの品質に大きな影響を与える (Jackson and Lombard 1993). ブドウの栽培には生育期間の平均気温が 12~24 であること (Jones 2007, Ramos et al. 2013), 太陽からの日射量が十分であること, 一日の中で十分な気温差があることなどが重要とされている (Mira de Orduña, R. 2010). また, 温暖な地域と冷涼な地域では同じ品種でも収穫されるブドウの特徴は大きく異なるため, 作られるワインの特徴も異なってくる. 従って, 地域ごとの気象とブドウの品種, ワインのスタイルとの関係性について古くから研究が行われてきた.

Amerine and Winkler (1944) は気候からアメリカ西海岸のブドウ栽培地の分類を行う方法として Winkler Index (WI) を提唱した. これに対して Huglin (1978) は WI を改変し日照時間を変数として加えた Huglin Index (HI) を提唱した. 一方, Gladstones (1992) は, 日較差 (DTRadj : Diurnal temperature range adjustment) を考慮した Biologically effective degree-days (BEDD) を提唱した. Jones (2005, 2009) は平均気温から地域を分類する Average growing season temperature (GST) を提唱した. GST は非常にシンプルな方法であり, 最も新しい指標である. このような地域を分類する手法が現在でも継続的に研究されている.

ブドウの栽培地を気候から分類し, 栽培する品種を選択することは高品質なブドウを栽培することにおいて非常に重要である. 例えば WI でボルドーは Region II に, ナパバレーは Region IV に分類される. しかし,

*Corresponding author (email; okuda@yamanashi.ac.jp)
2017年1月19日受理

日本ではこういった研究はされていないのが現状である。

以上のことから、日本国内の各地を気象で分類することがブドウ栽培を行う上で重要であると考えた。そこで本研究では、各種指標を用いて日本を分類し、気象的な特徴を提示した。アメリカ西海岸で行われた先行研究 (Jones et al. 2010) を参考に Winkler Index (WI) (Amerine and Winkler 1944), Huglin Index (HI) (Huglin 1978), Biologically effective degree-days (BEDD) (Gladstones 1992), Growing season temperature (GST) (Jones 2006) を用いて日本の地域ごとの気候の分類を行った。

方法

気象データの獲得

気象データは全国各地に設置されている気象庁のアメダス (AMeDAS : Automated Meteorological Data Acquisition System) の 1981 年から 2010 年の平均値を用いた。

気象データの解析と分類

気象データの解析は Winkler Index, Huglin Index, Biologically effective degree-days と Average growing season temperature の 4 種を用いた。クラスの表記 (Too cool ~ Too hot) はそれぞれの各先行研究の分類に従った。従って、それぞれのクラスの表記は指標ごとに異なった方法で定義されており、同じ表記 (例えば Warm) であっても、異なる指標間で直接比較することはできない。

1. Winkler Index (WI) (Amerine and Winkler 1944)

$$WI = \sum_{Apr1}^{Oct31} \max\left[\left(\frac{[T_{max} + T_{min}]}{2}\right) - 10, 0\right] \quad (式 1)$$

Class	WI
Too cool	<850
(Region I)	850-1389
(Region II)	1389-1667
(Region III)	1667-1944
(Region IV)	1944-2222
(Region V)	2222-2700
Too hot	>2700

T_{max} は日最高気温, T_{min} は日最低気温とした。WI は 4 月 1 日から 10 月 31 日までの期間で一日の平均気温が 10℃ を上回った場合、その超過分を積算し (Growing degree-days, GDD), その結果から地域を分類する方法である。Amerine and Winkler の方法のクラス分けでは Region I を下回った場合と Region V を上回った場合のクラスの設定がなされていなかったため、本研究では Jones (2010) の分類法に基づいて地域の分類を行った。

2. Huglin Index (HI) (Huglin 1978)

$$HI = \sum_{Apr1}^{Sept30} \max\left(\left[\frac{[T_{mean} - 10] + [T_{max} - 10]}{2}\right], 0\right) * K_{Lat} \quad (式 2)$$

$$K_{Lat} = 2.8311 * 10^{-4}$$

$$* \sum_{JDay=103}^{284} \frac{\arccos(\tan(Lat) * \tan(Axis * \cos\left[\frac{\pi * JDay}{182.625}\right]))}{\pi} * 24 + 0.30834 \quad (式 3)$$

Class	HI
Too cool	<1200
Very cool	1200-1500
Cool	1500-1800
Temperate	1800-2100
Warm temperate	2100-2400
Warm	2400-2700
Very warm	2700-3000
Too hot	>3000

式 2 では T_{mean} は日平均気温とした。HI は WI を改変し日照時間の補正 K_{Lat} を係数として加えたものである。式 3 は観測地点における日照時間の長さを太陽の軌道から補正する式であり、本研究はオーストラリアにおける先行研究 (Hall and Jones 2010) の算出方法に従って式 3 より K_{Lat} の算出を行った。日本では K_{Lat} は 0.975 ~ 1.035 であった。式 3 において Lat は地点ごとの緯度をラジアンで表したものの、 $Axis$ は黄道傾斜角 (本研究では 0.408 rad を採用)、 $JDay$ はユリウス暦で冬至である 12/21 からの経過日数 (4/1 は $JDay = 103$, 10/31 は $JDay = 284$) とし計算を行った。

3. Biologically effective degree-days (BEDD)
(Gladstones 1992, Jones et al. 2010)

$$BEDD = \sum_{Apr1}^{Oct31} \min[\max([T_{max} + T_{min}]/2 - 10, 0) * K_{Lat} + DTR_{adj}, 9] \tag{式 4}$$

$$DTR_{adj} = \begin{cases} 0.25 * [T_{max} - T_{min} - 13], & 13 < [T_{max} - T_{min}] \\ 0, & 10 < [T_{max} - T_{min}] < 13 \\ 0.25 * [T_{max} - T_{min}], & [T_{max} - T_{min}] < 10 \end{cases}$$

Class	BEDD
Too cool	<1000
Very cool	1000-1200
Cool	1200-1400
Temperate	1400-1600
Warm temperate	1600-1800
Warm	1800-2000
Very warm	2000-2200
Too hot	>2200

式 4 において T_{max} は日最高気温, T_{min} は日最低気温とした。また補正係数 K_{Lat} は HI と同じものを用いた。BEDD では日較差の補正と有効気温の上限について考慮されている点が特徴である。

4. Average growing season temperature (GST) (Jones et al. 2005)

$$GST = \frac{\sum_{Apr1}^{Oct31} (T_{max} + T_{min})/2}{n} \tag{式 5}$$

Class	GST
Too cool	<13°C
Cool	13-15°C
Intermediate	15-17°C
Warm	17-19°C
Hot	19-21°C
Very hot	21-24°C
Too hot	>24°C

T_{max} は日最高気温, T_{min} は日最低気温, n は積算を行った日数とした。

地図の作成

各指標の数値を算出し、その後、日本地図上のアメダスの地点にプロットをし、緯度と標高の座標平面に色

分けしてプロットを行った。なお本研究の計算は Microsoft Excel 2016 で行い、日本地図へのプロットは Excel 2016 の 3D Maps を用いた。

結果

本研究では Winkler Index (WI), Huglin Index (HI), Biologically effective degree-days (BEDD), Growing season temperature (GST) の 4 つの気候をもとにした分類指標を用いて国内の気候的分類を行った。

1. WI による分類

WI の結果を Table 1, Fig 1 に示した。

日本国内において最も多いのは Region V (27.6%) でありこれについて Region I (20.0%) であった。

北海道は東部が Too cool, 西部は Region I に分類された。本州は内陸の標高の高い地点は Too cool および Region I に分類されたが、標高の高い地点を除くと緯度が低いほど WI の値が上がっていくことが明らかとなった。中部地域以西では国土が東西に伸びているため観測地点の大部分が Region IV~V に分類された。また、関東地域も同様に Region IV~V に分類された。

以上の結果から、北海道の道東地域及び九州の鹿児島県以南はワイン用ブドウの栽培が困難な地域、それ以外の地域は栽培が可能な地域に分類されたが、その気候は地域により大きく異なることが明らかになった。WI では 4 月~10 月の積算気温に基づいた分類を行うが、冬季の気温については考慮されておらず、*Vitis vinifera* に属する大部分のブドウは -12 ~ -15 以下では越冬できないといわれているため、冬季の最低気温についても考慮が必要だと考えられた。ISO が策定した国際基準大気によると、日本では緯度が 1 度上がると気温が約 1 下がり、標高が 100 m 上昇すると気温が約 0.6 下がる (ISO, *Standard Atmosphere*, ISO 2533:1975, 1975.)。日本国内では緯度と標高と WI の間には相関があることが示唆されたので、緯度と標高の座標平面にクラス別にプロットした (Fig. 2)。

Fig. 2 より Too cool から Region III までは強い相関性があり、Region IV と Region V については Too cool から Region III ほど強くはないが相関が見られることがわかった。Too hot に関しては WI が 2,500 を超えた地点が全て含まれるため大きなばらつきが出たと考えられた。以上の結果により、国内において緯度と標高

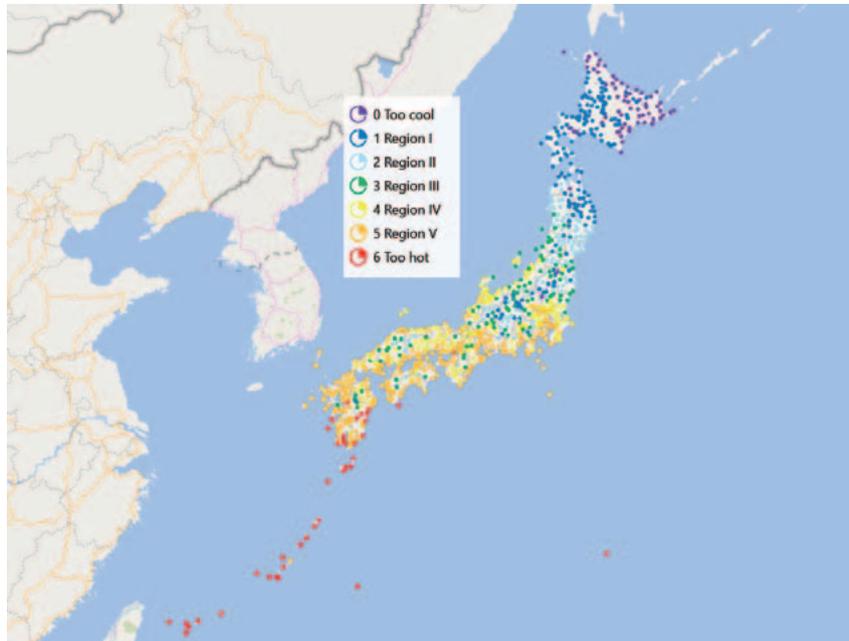


Fig. 1 Regional classification by Winkler index.

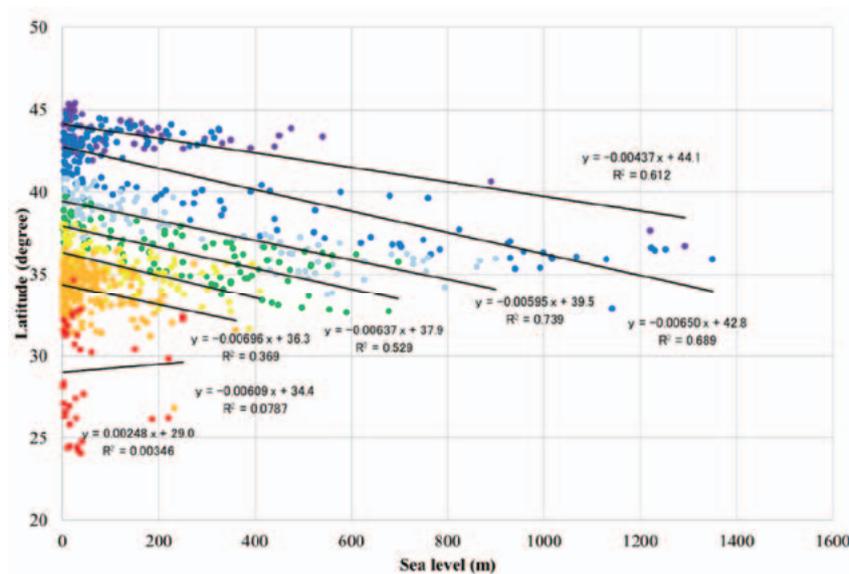


Fig. 2 Relationship between latitude and sea level based on Winkler index.

Table 1 The number and percent of classified points based on Winkler index.

Region	Number	Percentage (%)
Too cool	64	8.1
Region I	158	20.0
Region II	98	12.4
Region III	92	11.7
Region IV	121	15.3
Region V	218	27.6
Too hot	39	4.9



Fig. 3 Regional classification by Huglin index.

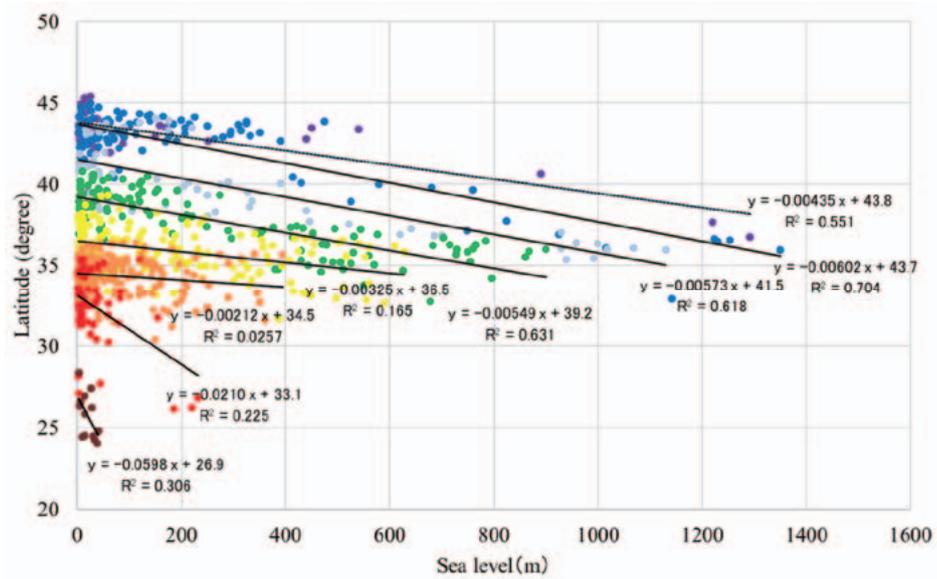


Fig. 4 Relationship between latitude and sea level based on Huglin index.

Table 2 The number and percent of classified points based on Huglin index.

Region	Number	Percentage (%)
Too cool	43	5.4
Very cool	110	13.9
Cool	68	8.6
Temperate	115	14.6
Warm temperate	164	20.8
Warm	214	27.1
Very warm	62	7.9
Too hot	13	1.7



Fig. 5 Regional classification by BEDD.

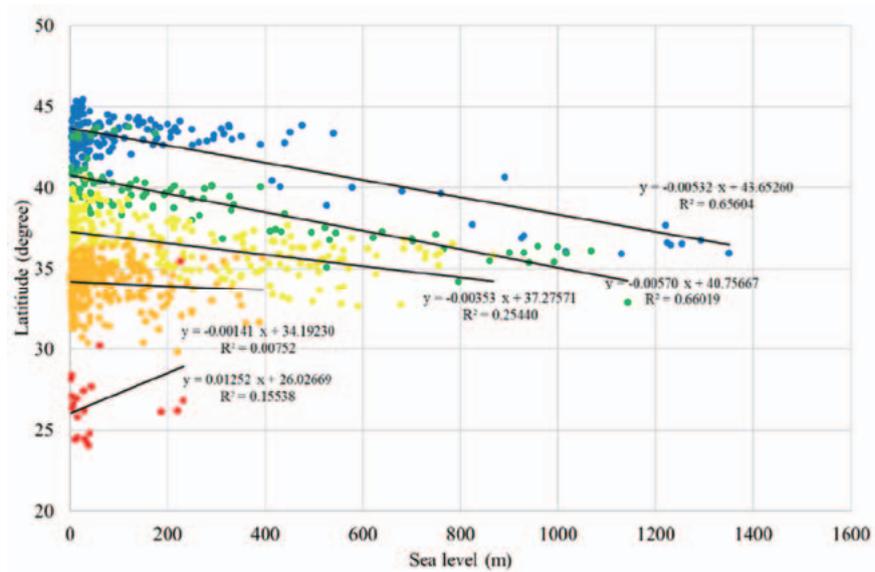


Fig. 6 Relationship between latitude and sea level based on BEDD.

Table 3 The number and percent of classified points based on BEDD.

Region	Number	Percentage (%)
Too cool	161	20.4
Very cool	98	12.4
Cool	219	27.7
Temperate	291	36.8
Warm temperate	21	2.7
Warm	0	0.0
Very warm	0	0.0
Too hot	0	0.0



Fig. 7 Regional classification by GST.

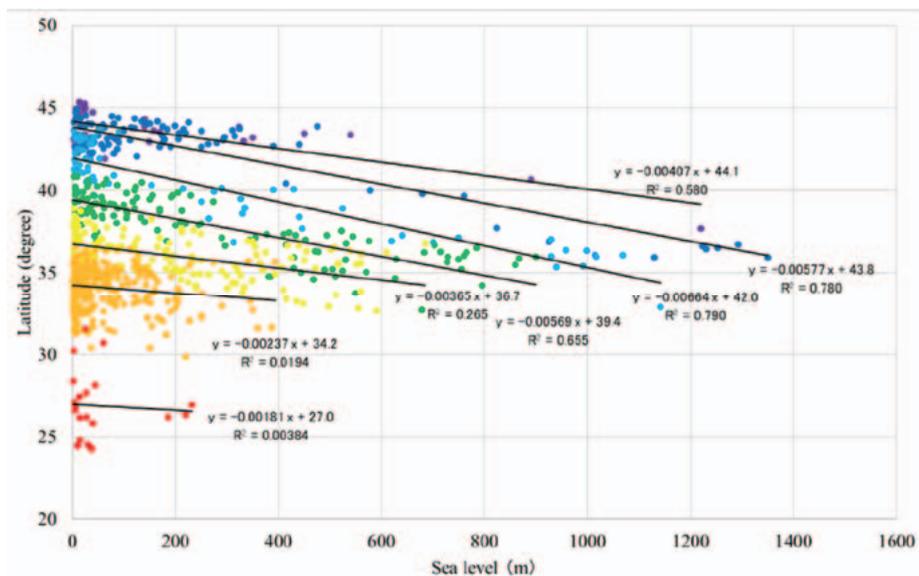


Fig. 8 Relationship between latitude and sea level based on GST.

Table 4 The number and percent of classified points based on GST.

	Number	Percentage (%)
Too cool	36	4.6
Cool	101	12.8
Intermediate	71	9.0
Warm	125	15.8
Hot	154	19.5
Very hot	281	35.6
Too hot	22	2.8

と WI の間には相関があることがわかった。

2. HI による分類

HI の結果を Table 2, Fig. 3, 4 に示した。日本では Warm (27.1%) が最も多く、次いで Warm temperate (20.8%) が多かった。これらを合わせると全体の約半数を占め、このことから日本は比較的温暖な地域が多く存在していることが明らかになった。WI と比較すると、分布は非常によく似ているが HI のほうが全体的に温暖なクラスが多く見られた。これは、補正係数 K_{Lat} の存在によって WI よりも温暖なクラスが増えたためと考えた。北海道については WI と同様に緯度とクラスの間連性が低いことが示唆された。また、近年ワイナリーが増加した空知付近は Cool に分類され周囲よりも気候が温暖な可能性が示唆された。

緯度と標高のプロットは WI とよく似た形となった。

3. BEDD による分類

BEDD の結果を Table 3, Fig. 5, 6 に示した。国内では Temperate が最も多く、二番目に多い Cool と合わせると全体の約 60% を占めることがわかった。なお Gladstones (1992) の方法ではクラスを 8 つに分類しているが、計算を行った結果 Warm ~ Too hot の地点が存在しなかったためクラスを Too cool から Warm temperate の 5 つに分類した。

Fig. 5 より、北海道で現在ワイン用ブドウ栽培が盛んな空知地方が Very cool に分類された（岩見沢地点で 1029 BEDD）。しかしながら、本州ではほとんど全てが 3 つのクラスに分かれてしまったことから、より詳細なクラス分けを考えることで国内の分類に使いやすい指標となりうる可能性が示唆された。

4. GST による分類

GST の結果を Table 4, Fig. 7, 8 に示した。GST による分類では日本国内は Very hot が最も多く、全体の約 35% を占めた。西日本はほとんどの地点で Very hot に分類され、また他の指標と同様に北海道は東西で別れ、北海道以外では緯度に依存的にクラス分けが変化すると考えられた。

日本地図上での配置は WI や HI と類似した。また、他の指標と比較して回帰直線が最も平行に近い形状となった。しかし、気温以外の要素を無視しているため、

先に行った HI や BEDD のほうが精度は高いものと考えられた。

考 察

ワイン用ブドウの栽培地域と気候との関連を明らかにすることは今後の日本ワインの高品質化を図る上で非常に重要なことである。本研究では既存の指標を応用することで、我が国の気候を分類することが可能であると示された。また、緯度と標高から未観測地点の気候分類がある程度可能であることが示された。本研究で使用した気象のデータはアメダスの地点における情報であり実際の栽培地の気候を表したものではない。従って、特にアメダス基地との気象差が大きいと考えられる圃場においては実際にブドウを栽培している圃場に気象センサーを設置して観測を長期間行う必要があると考えられた。また補完的なデータとして農研機構が作成したメッシュ農業気象データの活用も考えられた。

我が国では春から秋は悪天候が多く、HI や BEDD で用いる緯度から算出した日照時間と実際の日照時間とが異なるという問題があることから指標の見直しが必要であると考えられた。日照時間は糖度や酸度やアントシアニンの蓄積など、ワイン用ブドウには非常に重要は成分と関係すると考えられた。したがって、特に日照時間は実測値の利用が必要だと思われる。また、土地ごとに特異な局所的な気候条件（風（おろし）や盆地冷却など）が存在するため、それらがブドウの生育に影響を与えることも考えられた。日本では降雨に起因する病害が深刻であるため、品種選択をするには雨量や湿度に関する解析が必要である。また、水分ストレスに対する適性が品種によって異なると考えられ、土壌水分量に対する考慮も重要と考える。栽培地ごとの気候の変化を正確に追うことで、その土地に合った品種の評価をすることが可能となる。

要 約

ブドウの栽培地の気候は原料ブドウの品質を決定する重要なファクターの一つである。そのため、古くから栽培地の気候とブドウの品種の関係性についての研究が世界中で行われてきた。しかしながら日本における同様の研究は前例がなかったため本研究では AMeDAS のデータを使用して Winkler Index, Huglin

Index, Biologically effective degree-days そして Average growing season temperature の 4 つの分類手法を用いて日本国内の地理的分類を行った。それぞれについて計算を行ったところ日本はいずれの指標においても幅広く分類された。

参考文献

- Amerine, M.A., and A.J. Winkler. 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* 15: 493-675.
- Gladstones, J. 1992. *Viticulture and environment*. 310pp. Winetitles. Adelaide.
- Hall, A., and G.V. Jones. 2010. Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in Australia. *Aust. J. Grape Wine Res.* 16:389-404.
- Huglin, P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *C.R. Acad. Agr. France* 64:1117-1126.
- Jackson, D.I., Lombard, P.B. 1993. Environmental and Management Practices Affecting Grape Composition and Wine Quality- A Review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44: 409-430.
- Jones, G.V. 2006. Climate and terroir: Impacts of climate variability and change on wine. In *Fine Wine and Terroir: The Geoscience Perspective*. R.W. Macqueen and L.D. Meinert (eds.): 203-216.
- Jones, G.V., 2007. Climate change: observations, projections, and general implications for viticulture and wine production. *Practical Winery and Vineyard*. July/August: 44-64.
- Jones, G.V., Duff, A.A., Hall, A., Myers, J.W., 2010. Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in the western United States. *Am. J. Enol. Vitic.* 61: 313-326.
- Mira de Orduña, R., 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Res. Int.* 43: 1844-1855.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., and McMahon, T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11: 1633-1644.
- Ramos, A.M., Lorenzo, N., Taboada, J. & Lorenzo, J., 2013. Influence of climate variability on grape production and wine quality in the Rias Baixas, north-western Spain. *Regional Env. Change* 13: 887-896.
- Yokotsuka, K. 2006 Prediction of degree Brix seven grapes varieties bases on heat summation in Yamanashi Prefecture. *J. ASEV Jpn.* 17: 7-13.
- Yokotsuka, K, Fukui, M, Okuda, T, and Hisamoto, M. 2007. Changes in proteins during storage of wines produced from 1993 to 2003. *J. ASEV Jpn.* 18: 3-14.
- Yokotsuka, K and Okuda, T. 2011. Light-induced isomerization of *trans*-resveratrol to *cis*-resveratrol in must and wine during fermentation and storage. *J. ASEV Jpn.* 22: 16-21.
- Webb, L.B., Whetton, P.H., Barlow, E.W.R. 2008. Climate change and winegrape quality in Australia. *Clim. Res.* 36: 99-111.

