

Effet des levures et des paramètres de vinification sur la dynamique des concentrations en acétaldéhyde

Marilyn CLÉROUX¹, Arnaud PERNET¹, Ramón MIRA DE ORDUÑA HEIDINGER¹, Anik RIEDO¹, Muriel MERTENAT¹, Nick JACKOWETZ² et Erhu LI³

¹CHANGINS – Haute école de viticulture et œnologie, 1260 Nyon, Suisse

²Constellation Brands, Canandaigua, New York 14424, Etats-Unis

³College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Chine

Renseignements: Ramón Mira de Orduña Heidinguer, e-mail: ramon.mira@changins.ch, tél. +41 22 363 40 86, www.changins.ch



Les paramètres de fermentation, comme la souche de levure, l'ajout de SO_2 et de nutriments et le choix de la température, ont un impact sur la formation d'acétaldéhyde pendant la vinification (Cave expérimentale de la China Agricultural University à Pékin; photo Ramón Mira).

Introduction

Le SO_2 est un additif de grande utilité en œnologie, dont l'utilisation doit toutefois être limitée pour éviter des possibles réactions négatives chez les consommateurs sensibles. Les efforts dans ce sens d'ailleurs ne sont pas récents: certains travaux datent des années 1950 (Joslyn 1954). Aujourd'hui, cependant, de nou-

velles connaissances en chimie et en microbiologie permettent de mieux gérer l'application de SO_2 .

Une publication précédente dans cette revue (Henriet *et al.* 2014) a mis en évidence les principaux composés carbonylés du vin. En se combinant avec le SO_2 , ces composés en augmentent la concentration. En moyenne, plus de la moitié du SO_2 lié dans les vins rouges et 75 % dans les vins blancs sont dus à l'acétaldéhyde. Ce com-

posé peut se former par le contact du vin avec l'oxygène de l'atmosphère après la fermentation alcoolique. Plus précisément, ce sont des espèces réactives d'oxygène, telles que le peroxyde d'eau, formées au contact du vin avec l'oxygène en présence de métaux de transition (fer, cuivre) et de substances phénoliques, qui oxydent l'éthanol en acétaldéhyde (Danilewicz 2003).

Cependant, on entend assez fréquemment que la formation post-fermentaire serait la principale cause de la présence d'acétaldéhyde dans les vins. En fait, sauf négligence (vin mal protégé de l'oxydation atmosphérique), la majeure partie de l'acétaldéhyde est déjà formée par les levures au début de la fermentation. Cet article fait le point sur l'importance de la maîtrise de la fermentation alcoolique, des paramètres de vinification et des souches de levure sur la formation et la dégradation de l'acétaldéhyde.

Matériel et méthodes

Le profil analytique des deux moûts (Sauvignon blanc et Gewürztraminer) utilisés pour l'étude des paramètres de vinification est donné dans le tableau 1. Dans les différentes variantes, les moûts ont été modifiés par l'ajout (ou non) de SO₂ et de nutriments, et par une augmentation du pH. Les 20 variantes sont décrites dans le tableau 2. Les variantes avec ajout de SO₂ (30 mg/l) et de nutriments (250 mg/l de Fermaid K, Lallemand) et un pH non modifié (3,1) ont été définies comme témoin. La température de fermentation des variantes de contrôle était de 20 °C. En outre, un moût de Chardonnay a été utilisé pour comparer le potentiel de production d'acétaldéhyde de différentes levures (tabl. 1). L'influence de la teneur en glucose sur la formation d'acétaldéhyde a été étudiée avec des cellules au repos dans une solution d'acide tartrique tamponnée à pH4 (Li et Mira de Orduña 2011). Des levures commerciales de l'espèce *Saccharomyces cerevisiae* et d'autres espèces ont été prises dans la collection du laboratoire de CHANGINS.

La concentration en SO₂ a été déterminée par titrage iodométrique selon la méthode Ripper (Amerine et Ough 1974). Glucose, fructose et acétaldéhyde ont

Résumé L'acétaldéhyde est le principal responsable du dioxyde de soufre combiné dans les vins rouges et plus encore dans les blancs, où il induit en moyenne 75 % du SO₂ combiné. Dans les vins qui ne sont pas aérés volontairement (lors des remontages en vinification rouge) ou involontairement, la majeure partie de l'acétaldéhyde est produite par le métabolisme des levures. Dans la stratégie générale d'une réduction des taux de SO₂ combiné (et donc total), ce projet portait sur l'étude des facteurs de vinification susceptibles d'influencer la production d'acétaldéhyde par les levures. Le potentiel de formation d'acétaldéhyde de souches de levure *Saccharomyces* et autres a aussi été considéré. Les résultats montrent que les levures expulsent de l'acétaldéhyde au début des fermentations puis en réutilisent une partie ensuite. Les concentrations résiduelles dépendent donc du pic produit pendant la première phase et de l'ampleur de la réutilisation. Le sulfitage du moût a été le facteur le plus influent sur les concentrations maximales et résiduelles d'acétaldéhyde. En moyenne, pour 10 mg/l de SO₂ ajouté au moût, le taux de SO₂ combiné dû à l'acétaldéhyde augmente de 3–7 mg/l dans les vins blancs. La température de fermentation a affecté l'aptitude des levures à réutiliser l'acétaldéhyde excrété. Les basses températures se sont ainsi corrélées avec des résidus élevés d'acétaldéhyde. Quelques souches non *Saccharomyces* produisent nettement moins d'acétaldéhyde que *Saccharomyces cerevisiae*, une caractéristique qui a pu être confirmée chez une souche commerciale de *Torulaspora delbrueckii* dans la vinification d'un Chardonnay.

Tableau 1 | Profil analytique de deux moûts blancs

	°Oe	pH	Acidité titrable (g/l acide tartrique)	Azote assimilable (mg/l N)	SO ₂ total
Sauvignon blanc	89	3,1	7,1	88	0,0
Gewürztraminer	87	3,1	6,5	113	0,0
Chardonnay	89	3,2	8,4	176	0,0

été quantifiés par méthode enzymatique (Megazyme, Irlande). L'oxygène dissous a été mesuré non invasivement par fluorescence (Presens, Allemagne). L'acidité titrable a été dosée par titrage acide-base colorimétrique et l'azote assimilable par la méthode NOPA (Dukes et Butzke 1998). Toutes les incubations et analyses ont été dupliquées et les valeurs présentées sont des moyennes.

Résultats et discussion

La cinétique de la formation et la réutilisation de l'acétaldéhyde par les levures ont été étudiées en considérant plusieurs paramètres œnologiques tels que la variété de raisin, le cépage de levure, le sulfitage du moût, le pH, l'ajout de nutriments et la température de fermentation. Les conditions expérimentales sont détaillées dans le tableau 2. Pour éviter la formation chimique d'acétaldéhyde par oxydation de l'éthanol, toutes les fermentations ont été réalisées dans une chambre anaérobie et l'absence d'oxygène a été confirmée par la mesure de l'oxygène dissous dans les fermentations (fig. 1).

La figure 1 montre des fermentations exemplaires conduites avec *S. cerevisiae* EC1118 dans deux moûts blancs. Dans tous les essais, les levures ont d'abord produit de l'acétaldéhyde durant la phase initiale de la fermentation. Après avoir atteint sa concentration maximale, l'acétaldéhyde a ensuite été métabolisé par les levures (fig. 1). L'acétaldéhyde résiduel dans le vin, qui détermine par conséquent la quantité de SO₂ combiné, dépend donc de la hauteur du pic d'acétaldéhyde et du potentiel de réutilisation de cette molécule par la levure

pendant la deuxième phase de la fermentation. Les valeurs maximales et résiduelles de toutes les variantes sont fournies dans le tableau 2. Des facteurs de signification statistique et pratique ont pu être identifiés. Le plus important pour la hauteur du pic et pour les concentrations résiduelles était l'apport de SO₂ dans le moût, comme le montre la figure 2. En se liant avec l'acétaldéhyde, le SO₂ prive la levure de l'accepteur terminal d'électrons dont elle a besoin pour assurer l'équilibre d'oxydo-réduction cellulaire pendant la fermentation (Gottschalk 1986). La levure compense ce manque par une production accrue d'acétaldéhyde. En moyenne, 0,2–0,5 mg d'acétaldéhyde ont été formés par milligramme de SO₂ ajouté au moût, ce qui équivaut à 0,3–0,75 mg de SO₂ combiné. Autrement dit, l'addition de 50 mg/l de SO₂ augmenterait ainsi de 15–38 mg/l le taux de SO₂ combiné dans le vin. Le deuxième facteur déterminant pour l'acétaldéhyde résiduel était la température. Indépendamment d'autres paramètres, les températures basses réduisent l'activité métabolique de la levure et diminuent donc significativement la réutilisation d'acétaldéhyde (Jackowetz *et al.* 2011). Les fermentations à 12 °C présentaient donc des résidus d'acétaldéhyde bien corrélés

Tableau 2 | Effet de paramètres de vinification sur les taux maximaux et résiduels d'acétaldéhyde dans des fermentations réalisées avec deux souches de *S. cerevisiae*

Variante	Souche EC1118	Souche DV10	Addition de SO ₂	pH augmenté	12 °C	20 °C	Addition de nutriments	SB	G	Acétaldéhyde (maximum-mg/l)	Acétaldéhyde (résiduel-mg/l)	Sucre résiduel (g/l)
Sans addition de SO ₂	1					1	1	1		87 ± 12 ^a	24 ± 2 ^b	1,37 ± 0,18
Sans addition de nutriments	1		1			1		1		97 ± 1 ^a	35 ± 1 ^a	5,06 ± 0,38
pH 3,6	1		1	1		1	1	1		104 ± 11 ^a	38 ± 4 ^a	2,72 ± 0,31
Fermentation à 12 °C	1		1		1		1	1		101 ± 16 ^a	40 ± 6 ^a	34,05 ± 10,93
Témoin EC1118 - SB	1		1			1	1	1		93 ± 9 ^a	36 ± 0 ^a	4,51 ± 0,78
Sans addition de SO ₂	1					1	1		1	65 ± 5 ^b	25 ± 2 ^d	2,02 ± 0,01
Sans addition de nutriments	1		1			1			1	92 ± 2 ^a	37 ± 2 ^a	2,91 ± 0,84
pH 3,6	1		1	1		1	1		1	83 ± 3 ^a	31 ± 2 ^c	2,46 ± 0,74
Fermentation à 12 °C	1		1		1		1		1	86 ± 5 ^a	36 ± 1 ^{ab}	16,85 ± 3,32
Témoin EC1118 - G	1		1			1	1		1	86 ± 9 ^a	32 ± 0 ^{bc}	1,92 ± 0,22
Sans addition de SO ₂		1				1	1	1		107 ± 4 ^b	26 ± 0 ^d	2,50 ± 0,25
Sans addition de nutriments		1	1			1		1		87 ± 1 ^d	34 ± 1 ^c	4,87 ± 1,29
pH 3,6		1	1	1		1	1	1		119 ± 5 ^a	38 ± 0 ^b	2,80 ± 0,19
Fermentation à 12 °C		1	1		1		1	1		100 ± 2 ^c	49 ± 1 ^a	38,09 ± 1,62
Témoin DV10 - SB		1	1			1	1	1		101 ± 1 ^c	35 ± 0 ^c	3,90 ± 0,86
Sans addition de SO ₂		1				1	1		1	62 ± 1 ^b	22 ± 2 ^b	2,23 ± 0,49
Sans addition de nutriments		1	1			1			1	78 ± 1 ^a	33 ± 2 ^a	1,80 ± 0,30
pH 3,6		1	1	1		1	1		1	78 ± 9 ^a	36 ± 1 ^a	1,80 ± 0,49
Fermentation à 12 °C		1	1		1		1		1	82 ± 2 ^a	36 ± 3 ^a	9,91 ± 0,23
Témoin DV10 - G		1	1			1	1		1	86 ± 3 ^a	36 ± 1 ^a	2,42 ± 1,36

Des différences significatives ($p < 0,05$) entre les moyennes des concentrations en acétaldéhyde maximales et résiduelles d'incubations dupliquées sont indiquées par des lettres différentes. G: Gewürztraminer; SB: Sauvignon blanc. Le sucre résiduel a été mesuré quinze jours après l'inoculation.

avec le taux de sucres résiduels (tabl.2). La réutilisation de métabolites initialement excrétés par la levure est bien connue dans la fermentation de la bière, où la phase de réutilisation sert notamment à la réduction des taux de diacétyl et d'acétaldéhyde (Priest et Campbell 2003). Cependant, à cause du taux élevé d'alcool de la plupart des vins, la viabilité et donc l'activité métabolique des levures s'amenuise vers la fin de la fermentation, diminuant ainsi l'effet de cette phase.

D'autres expériences menées avec des cellules au repos dans notre laboratoire (Li et Mira de Orduña 2011) ont montré qu'indépendamment du taux de dégradation des sucres, la quantité d'acétaldéhyde produite par la levure était aussi fortement liée à la concentration en sucres (fig.3). Ce constat explique les grands résidus

d'acétaldéhyde (et le besoin accru en SO_2) habituellement observés dans les vins issus de raisins partiellement ou entièrement passerillés, ou dans les vins de glace (Pigeau et Inglis 2005).

L'utilisation de levures non *Saccharomyces* s'est répandue dans la recherche et la pratique œnologique depuis quelques années. Nous avons étudié la production d'acétaldéhyde de 26 souches *S. cerevisiae* et 7 non *Saccharomyces*, avec ou sans ajout de SO_2 (Li et Mira de Orduña 2011). Les résultats indiquent que les souches *Saccharomyces* varient relativement peu entre elles sur ce point, par rapport aux autres espèces de levure (fig.4). Ces dernières ont formé nettement moins d'acétaldéhyde, sauf *Z. bailli* et *S. pombe*, dont la production égale, voire surpassait la moyenne de souches *Saccharo-*

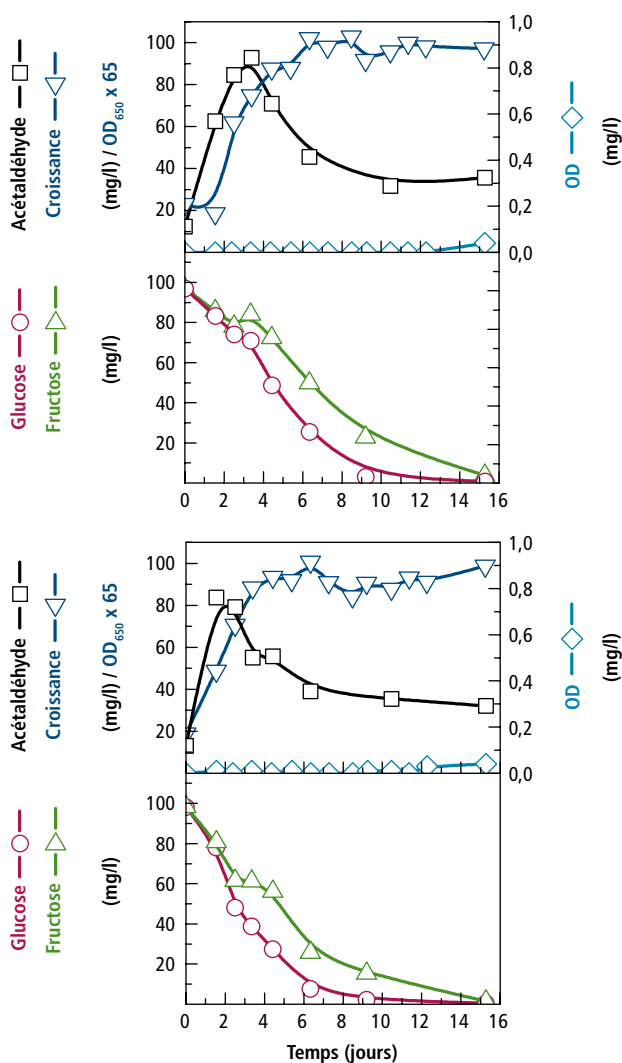


Figure 1 | Fermentation alcoolique d'un Sauvignon blanc (en haut) et d'un Gewürztraminer (en bas) avec *S. cerevisiae* EC1118. — Acétaldéhyde; — Croissance (densité optique à 650 nm x 65); — Oxygène dissous; — Glucose; — Fructose. Les graphiques montrent les variantes de contrôle avec addition de SO_2 et nutriments, pH natif et une température de fermentation de 20 °C.

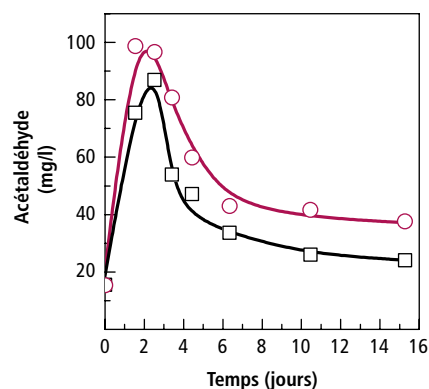


Figure 2 | Effet du sulfitage du moût sur la cinétique de l'acétaldéhyde pendant la fermentation d'un Sauvignon blanc avec *S. cerevisiae* EC1118. — sans sulfitage du moût; — avec sulfitage du moût (30 mg/l SO_2).

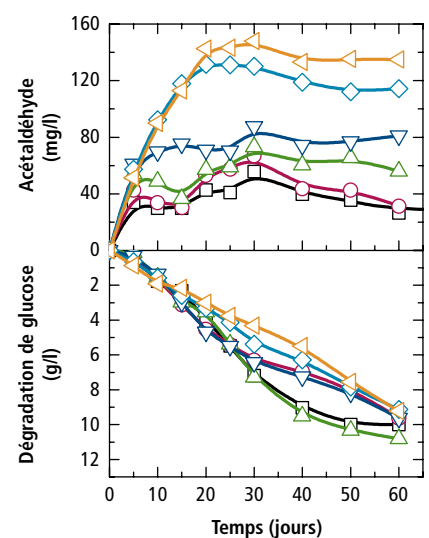


Figure 3 | Influence de la concentration en glucose sur la dégradation du glucose et la formation d'acétaldéhyde par *S. pombe*. Concentration en glucose: — 240 g/l; — 200 g/l; — 100 g/l; — 50 g/l; — 20 g/l; — 10 g/l (pH 4, 7,5 g/l biomasse comme poids sec).

myces. L'usage de certaines souches non *Saccharomyces* pourrait ainsi contribuer à limiter la formation d'acétaldéhyde. Une étude a été menée avec une souche commerciale de *Torulaspora delbrueckii* («Level 2 TD», Lallemand, France) pour vérifier cette possibilité. Les souches *Torulaspora* possédant une faible tolérance à l'alcool, une vinification avec ce micro-organisme requiert une deuxième inoculation avec une souche *S. cerevisiae* pour achever la fermentation. Une comparaison de cette fermentation *Torulaspora/Saccharomyces* avec des vinifications utilisant deux souches *Saccharomyces* commerciales courantes a montré que la souche *Torulaspora* a effectivement produit très peu d'acétaldéhyde pendant la phase de fermentation (fig. 5). Après l'inoculation de cette variante avec *S. cerevisiae*, une deuxième phase de production d'acétaldéhyde a eu lieu. A la fin du processus, les teneurs en acétaldéhyde et en SO₂ (8 et 2 mg/l) des vins de la variante *Torulaspora/Saccharomyces* étaient bien inférieures à la moyenne des valeurs (17,5 et 34 mg/l) des deux vinsensemencés avec *S. cerevisiae*.

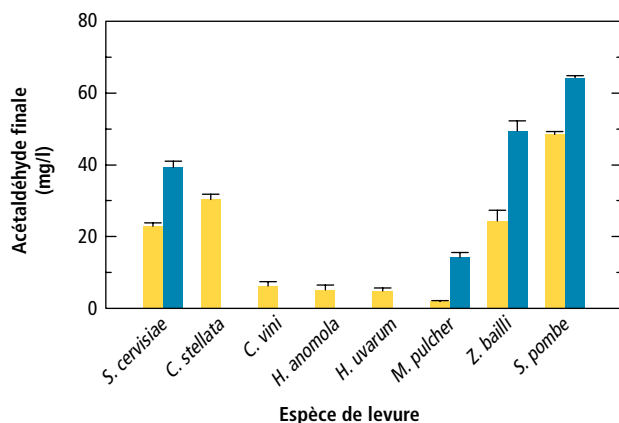


Figure 4 | Valeurs d'acétaldéhyde résiduelles dans des vins fermentés (en partie avec des non *Saccharomyces*) à l'aide de différents genres, espèces et souches de levure. ■ sans sulfitage du moût; ■ avec sulfitage du moût (30 mg/l SO₂). Les données de *S. cerevisiae* représentent la moyenne de l'étude de 26 souches. Les colonnes bleues manquantes signifient que la levure a été inhibée par l'ajout de SO₂.

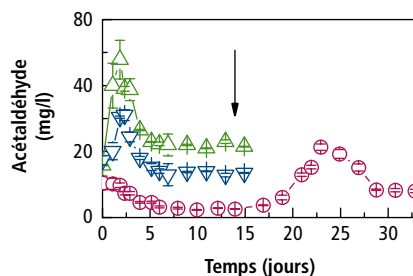


Figure 5 | Cinétique des concentrations d'acétaldéhyde pendant la fermentation alcoolique d'un moût de Chardonnay avec différentes levures. — *S. cerevisiae* EC1118; — *S. cerevisiae* CY3079; — *Torulaspora delbrueckii/S. cerevisiae* EC1118. La flèche indique le moment de l'inoculation de *S. cerevisiae* EC1118 dans la variante *Torulaspora/Saccharomyces*.

Conclusions

- L'acétaldéhyde peut être formé chimiquement (principalement après la fermentation alcoolique, lorsque les vins sont exposés à l'oxydation atmosphérique) et biologiquement (par les levures au départ de la fermentation alcoolique).
- Durant l'élaboration de vins blancs normalement non aérés (sauf négligence), la majeure partie de l'acétaldéhyde est produit par la levure pendant la fermentation alcoolique.
- L'addition de SO₂ en présence de levures actives engendre systématiquement la formation d'acétaldéhyde, qui élèvera le taux de SO₂ combiné, de même que lorsque le SO₂ est utilisé pour terminer une fermentation alcoolique. Cette étude indique que, pour 10 mg/l de SO₂ ajouté dans le moût, la teneur en SO₂ combiné dans le vin fini s'accroît de 3–7 mg/l.
- Les levures dégradent l'acétaldéhyde après la fermentation si elles sont restées viables et en contact avec le vin.
- De ce fait, les températures basses et les facteurs qui réduisent la viabilité (pH très bas, taux élevé d'alcool) accroissent les résidus d'acétaldéhyde dans le vin.
- L'application de levures non *Saccharomyces* peut être intéressante dans le cadre d'une stratégie de diminution du SO₂.

Bibliographie

- Amerine M. A. & Ough C. S., 1974. Methods for Analysis of Musts and Wine. Wiley-Interscience Publication, New York.
- Danilewicz J. C., 2003. Review of reaction mechanisms of oxygen and proposed intermediate reaction products in wine: central role of iron and copper. *Am. J. Enol. Vitic.* **54**, 73–85.
- Dukes B. C. & Butzke C. E., 1998. Rapid determination of primary amino acids in grape juice using an o-phthalaldehyde/N-acetyl-L-cysteine spectrophotometric assay. *Am. J. Enol. Vitic.* **49**, 127–134.
- Gottschalk G., 1986. Bacterial Metabolism. Springer-Verlag, New York, 359 p.
- Henriot J., Jackowetz J. N. & Mira de Orduña R., 2014. Composés carbonyles: importance pour les taux de SO₂, analyse et présence dans les vins. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **46**, 318–325.
- Jackowetz J. N., Dierschke S. E. & Mira de Orduña R., 2011. Multifactorial analysis of acetaldehyde kinetics during alcoholic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Res. Int.* **44**, 310–316.
- Li E. & Mira de Orduña R., 2011. Evaluation of the acetaldehyde production and degradation potential of 26 enological *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* yeast strains in a resting cell model system. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **38**, 1391–1398.
- Pigeau G. M. & Inglis D. L., 2005. Upregulation of ALD3 and GPD1 in *Saccharomyces cerevisiae* during Icewine fermentation. *J. Appl. Microbiol.* **99**, 112–125.
- Priest F. G. & Campbell I., 2003. Brewing Microbiology. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.

Summary**Effect of yeast strain and vinification parameters on acetaldehyde kinetics**

Acetaldehyde is the main causative of combined SO₂ in red and especially in white wines where it is responsible for 75 % of the bound SO₂ on average. In wines that have not been aerated voluntarily (e.g. during pump-overs) or involuntarily, the major part of acetaldehyde stems from yeast metabolism. Within the major objective of reducing bound, and hence, total SO₂ levels in wines, this project studied vinification factors that could influence yeast acetaldehyde production. The potential of various *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* strains to form acetaldehyde was also considered. The results show that yeast excrete acetaldehyde at the beginning of fermentations and reutilise a certain part of it afterwards. Residual acetaldehyde concentrations hence depend on the maximum reached as well as the extent of the reutilisation. Must sulphite addition was the largest contributor for maximum and residual acetaldehyde levels. On average, for every 10 mg/l of SO₂ added to the must, the bound-SO₂ concentration caused by acetaldehyde increased by 3–7 mg/l in white wines. The fermentation temperature affected the ability of yeast to reutilise acetaldehyde. Low fermentation temperatures correlated with high acetaldehyde residues. Some non-*Saccharomyces* strains produce considerably less acetaldehyde as *S. cerevisiae* strains. This characteristic could be confirmed with a commercial *Torulasporea delbrueckii* strain in a Chardonnay fermentation.

Key words: wine, acetaldehyde, SO₂, yeast, *Saccharomyces*.

Zusammenfassung**Einfluss des Hefestamms und verschiedener Gärparameter auf den Verlauf der Acetaldehydkonzentrationen**

Acetaldehyd ist der Hauptverursacher von gebundenem SO₂ in Rot- und besonders in Weissweinen, wo es im Durchschnitt für 75 % des gebundenen SO₂ verantwortlich ist. In Weinen, die nicht absichtlich (z.B. beim Umpumpen in der Rotweinherstellung) oder ungewollt belüftet wurden, resultiert der Grossteil des Acetaldehyds vom Hefestoffwechsel. Im Rahmen des langfristigen Ziels die gebundenen und dadurch auch die Gesamt-SO₂ Konzentration zu reduzieren, hat diese Studie Vinifikationsfaktoren untersucht, welche die Acetaldehydbildung durch die Hefe beeinflussen könnten. Das Acetaldehydbildungspotential mehrere *Saccharomyces*- und nicht-*Saccharomyces*-stämme wurde ebenfalls untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass Hefen zu Beginn der Gärung Acetaldehyd bilden und einen Teil davon in späteren Phasen wieder metabolisieren. Die Endacetaldehydkonzentrationen hängen demnach von dem erreichten Höchstwert und dem Umfang der Wiederaufnahme ab. Die Mostschwefelung hatte die grösste Auswirkung auf die Höchst- und Endwerte des Acetaldehyds. Im Durchschnitt erhöht sich in Weissweinen bei einer Mostzugabe von 10 mg/l SO₂ der durch Acetaldehyd verursachte gebundene Schwefel um 3–7 mg/l. Die Gärtemperatur beeinflusste die Fähigkeit der Hefen Acetaldehyd wiederaufzunehmen. So korrelierten niedrige Fermentationstemperaturen mit hohen Acetaldehydrückständen. Manche nicht-*Saccharomyces* bilden signifikant weniger Acetaldehyd als *S. cerevisiae* Stämme. Es war möglich diese Eigenschaft mit einem *Torulasporea delbrueckii* Stamm bei der Vergärung eines Chardonnay zu bestätigen.

Riassunto**Effetto dei lieviti e dei parametri di vinificazione sulla dinamica delle concentrazioni in acetaldeide**

L'acetaldeide è la principale responsabile del diossido di zolfo combinato nei vini rossi, e ancor più nei bianchi, all'origine in media del 75 % del SO₂ combinato. Nei vini non arieggiati volontariamente (al momento del rimontaggio nella vinificazione dei rossi) o involontariamente, la maggior parte della acetaldeide proviene dal metabolismo dei lieviti. Questo progetto era incentrato sullo studio dei fattori di vinificazione suscettibili d'influenzare la produzione di acetaldeide dai lieviti nella prospettiva generale di una riduzione dei tassi di SO₂ combinata (e quindi totale). È pure stato considerato il potenziale di formazione di acetaldeide di ceppi di *Saccharomyces* e altri. I risultati mostrano che i lieviti espellono dell'acetaldeide all'inizio delle fermentazioni per poi riutilizzarne una parte. Le concentrazioni residue dipendono quindi dal picco prodotto durante la prima fase e dall'ampiezza della riutilizzazione. La solfitazione del mosto è stato l'elemento con maggiore influsso sulle concentrazioni massime e residuali di acetaldeide. Nei vini bianchi il tasso di SO₂ combinato dovuto all'acetaldeide aumenta, in media, di 3–7 mg/l per ogni 10 mg/l di SO₂ aggiunto al mosto. La temperatura di fermentazione ha influenzato l'attitudine dei lieviti a riutilizzare l'acetaldeide espulsa. Le basse temperature si sono così correlate con elevati residui di acetaldeide. Qualche ceppi di non-*Saccharomyces* producono nettamente meno acetaldeide rispetto a *Saccharomyces cerevisiae*, caratteristica che ha potuto essere confermata con un ceppo commerciale di *Torulasporea delbrueckii* nella vinificazione di un Chardonnay.