

Distribution de l'azote dans la vigne: impact de la période d'application de l'urée foliaire

Thibaut VERDENAL¹, Vivian ZUFFEREY¹, Fabrice LORENZINI², Ágnes DIENES-NAGY², Jorge E. SPANGENBERG³, Jean-Laurent SPRING¹ et Olivier VIRET¹

¹Agroscope, Institut des sciences en production végétale (IPV)

²Agroscope, Institut des sciences en denrées alimentaires (IDA)

³Université de Lausanne, Institut des dynamiques de la surface terrestre (IDYST)

Renseignements: Thibaut Verdenal, e-mail: thibaut.verdenal@agroscope.admin.ch, tél. +41 58 468 65 60, www.agroscope.ch



Application d'urée foliaire à la véraison.

Introduction

L'azote assimilable par les levures représente 25 à 40 % de l'azote total dans le moût de raisin. Sa teneur naturelle dépend de la nutrition azotée de la vigne et varie selon les conditions du terroir (sol, climat, etc.) et les choix techniques du vigneron (association cépage porte-greffe, entretien du sol, fertilisation, etc.) (Porro

et al. 2006; Garde-Cerdan *et al.* 2009; Zufferey *et al.* 2010; Reynard *et al.* 2011; Spring *et al.* 2012). L'azote assimilable est composé d'acides aminés libres (AA, environ 80 % lors des vendanges) et d'ammonium (NH_4^+ , environ 20 %). Une quantité suffisante d'azote assimilable (>200 mg/l) garantit une bonne cinétique de fermentation et sa composition en AA est source de précurseurs aromatiques (Agenbach 1977; Bell *et*

Henschke 2005). En cas de carence, l'ajout direct de phosphate de diammonium dans le moût améliore la cinétique de fermentation mais présente peu d'intérêt dans le développement d'arômes variétaux et fermentaires (Lorenzini et Vuichard 2012). En revanche, l'apport d'azote à la vigne sous forme d'urée foliaire permet une nette augmentation de la teneur en AA (Lacroux *et al.* 2008; Dufourcq *et al.* 2009; Hannam *et al.* 2013). L'objectif de cette étude était de mieux comprendre l'impact de la période de fertilisation foliaire sur la distribution de l'azote dans la vigne. L'application d'urée marquée isotopiquement (10 atom% ^{15}N) a permis de différencier l'azote provenant de l'urée et d'observer sa répartition dans la vigne au moment de la vendange.

Matériel et méthodes

L'essai a été conduit en 2012 par Agroscope à Pully (VD, Suisse) sur des vignes de Chasselas (clone INRA 31, porte-greffe 3309C) plantées en 1999. Dans la région, les précipitations annuelles s'élèvent à 1140 mm et la température journalière pendant la période végétative (avril-octobre) est de 15,5 °C (normales 1981–2010, Pully, MétéoSuisse). Le sol colluvial est composé de 17 % d'argile, 46 % de sable et 4 % de calcaire (CaCO_3). La matière organique est de 1,7 % et il n'y a pas de carence en éléments P, K, Mg et B. Le sol est profond et la réserve utile importante (> 250 mm). Les vignes ont été taillées en Guyot simple (sept rameaux par cep) et une grappe par rameau a été conservée lors du dégrappage. La densité de plantation était de 1,5 x 0,8 m avec une hauteur de feuillage de 1,3 m. L'urée foliaire a été apportée à la vigne [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$; 20 kg N/ha; dilution 2,5 %m/v] à la floraison (variantes F et F ^{15}N) ou à la véraison (V et V ^{15}N). La variante témoin T n'a reçu aucune fertilisation azotée (tabl.1). Chaque variante était composée de trois ceps. Les variantes F et V ont reçu de l'urée commerciale, alors que les variantes F ^{15}N et V ^{15}N ont reçu de l'urée marquée isotopiquement (10 atom% ^{15}N , Sigma-Aldrich, Saint-Louis, Missouri, Etats-Unis).

Tableau 1 | Description des cinq variantes de l'essai. 5 kg N/ha ont été appliqués à la vigne une fois par semaine pendant quatre semaines à la floraison ou à la véraison

Variante	Période de fertilisation	Apport d'azote
F	Floraison	20 kg/ha, urée commerciale
F ^{15}N	Floraison	20 kg/ha, urée marquée ^{15}N
V	Véraison	20 kg/ha, urée commerciale
V ^{15}N	Véraison	20 kg/ha, urée marquée ^{15}N
T	Aucune	Aucun

Résumé En cas de carence dans le moût de raisin, l'azote assimilable par les levures (YAN) peut être rectifié par un apport d'azote à la vigne sous forme d'urée foliaire. Dans le cadre d'un essai mené en 2012 par Agroscope à Pully, de l'urée foliaire a été appliquée à la vigne (*Vitis vinifera* cv. Chasselas), à la floraison ou à la véraison. L'utilisation d'urée marquée isotopiquement (10 atom% ^{15}N) a permis d'évaluer l'impact de la période d'application de l'urée sur la distribution de l'azote dans la vigne. Les grappes ont présenté la plus grande concentration de l'azote provenant de l'urée foliaire quelle que soit la période d'application. La teneur en azote assimilable dans le moût était la plus élevée lorsque l'urée a été appliquée à la véraison. En conclusion, il est significativement plus efficace d'apporter de l'urée foliaire à la véraison pour augmenter la teneur en azote assimilable d'un moût initialement carencé.

La croissance végétative et le développement de la vigne ont été suivis au cours de la saison (stades phénologiques, indice chlorophyllien, surface foliaire exposée, poids de rognage, fertilité et rendement). A la vendange, chacun des quinze ceps a été arraché et divisé en huit parties: racines, tronc (branche à fruits incluse), rameaux, feuilles, rognages (collectés en cours de saison), marc, bourbes, moût. Toutes les parties de cep ont été séchées pour déterminer la matière sèche (g MS/plante), puis mises en poudre (< 1300 μm). Les moûts ont été lyophilisés.

L'azote total (N total, % MS) a été analysé avec la méthode de Kjeldahl par le laboratoire Sol-Conseil à Changins. Les rapports isotopiques $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ($\delta^{15}\text{N}$) ont été quantifiés avec un spectrophotomètre de masse (EA-IRMS) par le laboratoire des isotopes stables de l'Université de Lausanne; 100 ml de moût par cep ont été analysés par le laboratoire de l'Institut des sciences en denrées alimentaires d'Agroscope à Changins. Un spectrophotomètre à infrarouge (Winescan FOSS, Hillerød, Danemark) a permis de quantifier le pH, les sucres (°Oe), l'acidité totale (g/l éq. acide tartrique), les acides tartrique et malique (g/l) et l'azote assimilable (mg/l). Les AA libres, exprimés en milligramme d'azote par litre de moût (mg N/l, en considérant tous les atomes de N), ont été déterminés et quantifiés par chromatographie en

phase liquide à haute pression (HPLC). L'ammonium (NH_4^+ ; mg N/l) a été mesuré avec un kit enzymatique (Boehringer, Mannheim, Allemagne).

Pour chaque partie de vigne, les paramètres suivants ont été calculés selon la méthode détaillée par Verdinal *et al.* (2015):

- la quantité totale de N (QN, g);
- l'abondance de ^{15}N (A %) ou proportion de ^{15}N pour 100 atomes de N;
- l'abondance relative spécifique (RSA, % N total) ou part du N total provenant de l'apport d'urée; la RSA représente également la force d'appel de l'organe, indépendamment de sa taille;
- la quantité de nouvel azote (g) acquis après l'apport d'urée;
- la répartition du nouvel azote par organe (% P_{organe}) a été calculée. Les valeurs de % P_{organe} des huit parties du cep totalisent 100 %.

Les différences entre variantes ont été évaluées par ANOVA ($P < 0,05$), puis par le test de Newman-Keuls, avec le programme XLSTAT 2011.2.04 (Addinsoft, Paris, France).

Résultats

Développement physiologique et composition du moût

La pleine floraison s'est déroulée le 16 juin et la véraison le 15 août. La fertilité ($2,0 \pm 0,2$ grappes/rameau), le rendement ($2,1 \pm 0,6$ kg/plant) et la surface foliaire exposée ($1,6 \pm 0,1$ m²/m² de sol) ont été constants pour toutes les variantes (tabl. 2). Il n'y a pas eu de différence entre variantes en termes de sucres solubles (80 ± 3 °Oe) et de pH ($3,56 \pm 0,07$). Par contre, les variantes T et F ont

Tableau 2 | Effet de l'apport d'urée, à la floraison ou à la véraison, sur les paramètres de la vigne, les composantes du rendement et la composition du moût à la vendange

Variable	T	F	F ¹⁵ N	V	V ¹⁵ N	Valeur P
Fertilité (grappes/rameau)	2,2	2,0	2,2	2,0	1,7	0,296
Rendement (kg/cep)	1,6	2,2	2,4	2,1	2,6	0,264
Sucres (°Oe)	80	81	78	83	80	0,175
pH	3,6	3,5	3,5	3,6	3,5	0,234
Acidité totale (g/l)	4,0 b	4,1 b	4,4 ab	4,2 ab	4,7 a	0,029
Azote assimilable (mg/l)	92 ab	79 b	89 ab	117 a	116 a	0,020

Les moyennes suivies de différentes lettres sur une même ligne sont significativement différentes ($P < 0,05$).

eu une acidité totale plus faible que la variante V¹⁵N, notamment à cause d'une teneur en acide malique plus faible. Enfin, malgré un niveau globalement faible dans toutes les variantes, les concentrations en azote assimilable dans les moûts des variantes fertilisées à la véraison ont été plus élevées ($116,2 \pm 15,4$ mg/l) que celles des variantes fertilisées à la floraison et de la variante témoin ($86,8 \pm 10,1$ mg/l).

Impact sur la répartition de l'azote dans la vigne

Les quantités de matière sèche ont été similaires entre les variantes. La teneur moyenne en azote total a varié de $0,2 \pm 0,1$ % MS dans le moût à $2,4 \pm 1,4$ % MS dans les rognages, sans différence entre les variantes. Dans cette étude, les variantes marquées (F¹⁵N et V¹⁵N) contenaient respectivement 140 et 155 μg MS de ^{15}N par cep, un taux deux à trois fois plus élevé que dans les variantes non marquées (61 μg MS pour F et 71 μg MS pour V). Les variantes non marquées et le témoin (F, V et T) ont fourni une teneur constante en ^{15}N équivalente à l'abondance naturelle sur terre de 0,37 % N. Les deux variantes marquées ont quant à elles montré que l'abondance de ^{15}N était très variable, en lien avec la répartition hétérogène de l'azote provenant de l'apport d'urée. Sur les 2,5g d'azote apportés par cep et par variante, seuls 35 % ont été absorbés par les vignes, ce qui représente environ 5 % de l'azote organique total dans la plante à la vendange. Dans les variantes marquées F¹⁵N et V¹⁵N, le nouvel azote assimilé était présent dans tous les organes de la vigne, avec des différences significatives de concentration entre les organes (fig. 1). Quelle que soit la période d'application de l'urée, la RSA la plus élevée était dans les raisins (moûts, bourbes et marcs), allant jusqu'à 12,7 % de l'azote total. Les RSA les plus petites étaient dans les racines (1,3 % N total). Dans le moût, le nouveau N représentait 8,9 % de l'azote total lorsque l'urée était apportée à la floraison, contre 12,7 % lorsqu'elle était appliquée à la véraison.

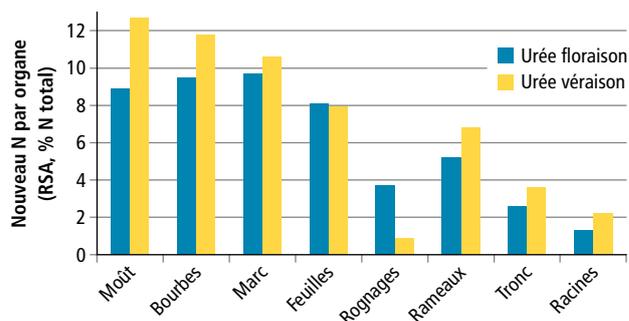


Figure 1 | Impact de la période d'application de l'urée foliaire, à la floraison ou à la véraison, sur l'abondance relative spécifique (RSA) du nouvel azote dans les organes de la vigne.

La distribution de l'azote (% P) n'a significativement différencié entre les variantes F¹⁵N et V¹⁵N que dans le marc (fig. 2). Les feuilles, rognages et marc semblent recevoir plus de nouvel azote lorsque l'application d'urée foliaire est réalisée à la floraison, qui correspond à la période de croissance végétative de la vigne. Inversement, les organes réserves (tronc et racines) ont reçu seulement 20 % du nouveau N avec l'urée appliquée à la floraison, contre 32 % lorsqu'elle était appliquée à la véraison.

Impact sur l'azote assimilable dans le moût

Le marquage isotopique n'a pas eu d'influence sur la concentration en AA et en ammonium des moûts. Par conséquent, seules les moyennes des variantes marquées et non marquées sont présentées pour chaque période d'application d'urée dans le tableau 3. À l'exception de l'acide aspartique, de l'asparagine, de la méthionine et de la glycine, la concentration des AA a été significativement plus élevée lorsque l'urée était apportée à la véraison, avec une concentration totale de 266 mg N/l, contre respectivement 169 et 166 mg N/l dans les variantes traitées à la floraison et dans le témoin sans urée (fig. 3). L'augmentation de la concentration en AA entre le témoin et les variantes traitées à la véraison a varié de 0 à 150 % selon l'AA considéré. La même ten-

dance, bien que non significative, a été observée pour l'ammonium, avec 12,2 mg N/l pour les variantes traitées à la véraison, contre 9,2 et 7,0 mg N/l pour les variantes traitées à la floraison et le témoin (fig. 3).

Discussion

L'apport d'urée n'a créé de différence ni en termes de matière sèche ni dans la distribution de l'azote total dans la vigne. Le taux d'assimilation de l'urée par la vigne correspondait aux 30 % rapportés par deux autres études (Jakovljevic *et al.* 1995; Porro *et al.* 2010). Le nouveau N (provenant de l'apport d'urée) a été réparti dans tous les organes de la vigne. Les grappes ont eu la plus grande force d'appel, en accord avec les résultats d'autres études (Conradie 1986, 1990; Rodriguez-Lovalle et Gaudillère 2002; Schreiber *et al.* 2002). La variation de RSA entre les variantes F¹⁵N et V¹⁵N était significative ($P < 0,10$) seulement pour les moûts (fig. 1). Globalement, la RSA tendait à être plus élevée dans les organes reproducteurs et dans les réserves quand l'urée

Tableau 3 | Impact de la période d'application de l'urée foliaire, à la floraison ou à la véraison, sur la concentration en acides aminés dans les moûts

Acides aminés	Concentration (mg N/l)			
	T	Moyenne (F+F ¹⁵ N)	Moyenne (V+V ¹⁵ N)	Valeur P
Arginine	90,3 b	89,2 b	147,8 a	0,000
Proline	14,2 b	19,8 b	36,0 a	0,014
Glutamine	8,4a b	7,0 b	9,2 a	0,004
Acide γ-aminobutyrique	7,4 b	7,9 b	9,7 a	0,008
Acide glutamique	6,7 b	6,9 b	8,7 a	0,022
Acide aspartique	6,6	5,4	6,4	0,157
Alanine	6,6 b	7,1 b	9,8 a	0,000
Thréonine	5,9 b	6,2 b	10,8 a	< 0,0001
Sérine	4,6 b	4,4 b	6,7 a	< 0,0001
Asparagine	3,6	3,2	3,5	0,385
Histidine	3,1 b	3,3 b	5,5 a	< 0,0001
Leucine	2,2 b	2,2 b	2,9 a	0,001
Valine	2,1 b	2,2 b	3,0 a	0,000
Isoleucine	1,6 b	1,7 b	2,1 a	0,002
Phénylalanine	1,2 b	1,2 b	1,5 a	0,004
Lysine	0,6 ab	0,6 b	0,9 a	0,013
Tyrosine	0,6 b	0,6 b	0,9 a	< 0,0001
Méthionine	0,2	0,2	0,4	0,085
Glycine	0,2	0,2	0,3	0,600
Cystine	n.d.	n.d.	n.d.	–
Hydroxyproline	n.d.	n.d.	n.d.	–

Les moyennes suivies de différentes lettres sur une même ligne sont significativement différentes ($P < 0,05$).

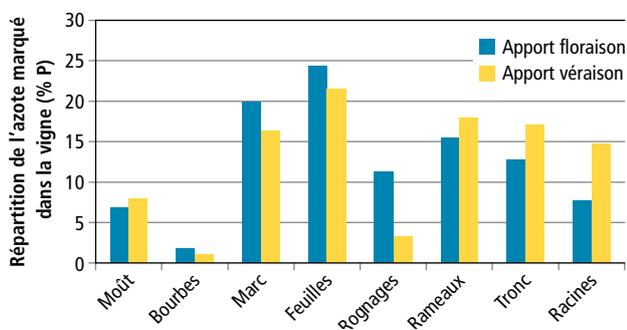


Figure 2 | Impact de la période d'application de l'urée foliaire, à la floraison ou à la véraison, sur la répartition du nouveau N (%P) dans les organes de la vigne.

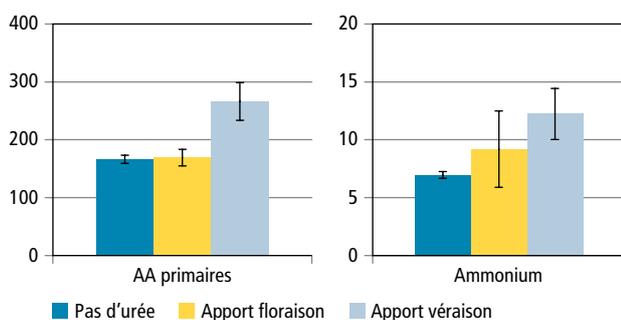


Figure 3 | Impact de la période d'application de l'urée foliaire, à la floraison ou à la véraison, sur la concentration en acides aminés totaux et en ammonium des moûts de raisin (mg N/l).

était apportée plus tard à la véraison. Les raisins ont ainsi tiré meilleur profit d'une urée appliquée à la véraison. Ces résultats indiquent que près de 90 % de l'azote total dans le moût provient d'autres sources que l'apport d'urée, telles que l'azote du sol absorbé par les racines ou bien l'azote venant des organes-réserves (tronc et racines). Ces observations concordent avec celles d'autres études (Conradie 1990; Glad *et al.* 1994; Schreiber *et al.* 2002). La compétition entre les organes végétatifs et reproducteurs semble plus forte à la floraison: les valeurs de RSA se distinguaient davantage entre le moût et le feuillage dans les variantes traitées à la véraison ($\Delta\text{RSA}_{\text{moût-feuilles}} = 4,8\%$) que dans les variantes traitées à la floraison ($\Delta\text{RSA}_{\text{moût-feuilles}} = 0,8\%$) (fig.1). Les teneurs en azote assimilable plus faibles lorsque l'urée est apportée à la floraison se conforment aux résultats obtenus par Spring et Lorenzini (2006) sur Chasselas et, plus récemment, sur Sauvignon blanc et Merlot par Lasa *et al.* (2012). En effet, pour des quantités équivalentes de MS (323 ± 10 g) et d'azote total ($0,53 \pm 0,06$ g) dans le moût, seul l'apport d'urée à la véraison a mené à une augmentation significative de la concentration en azote assimilable (fig. 3). Comme le suggère Conradie (1990), l'azote appliqué plus tard

dans la saison contribue de façon plus importante au pool d'azote assimilable (AA libres et ammonium) qu'au pool insoluble (protéines). Il est donc plus efficace de corriger les teneurs en azote assimilable en apportant de l'urée foliaire pendant la véraison que pendant la floraison.

Conclusions

- L'apport d'urée foliaire à la véraison augmente significativement la teneur en azote assimilable (AA libres et ammonium) dans les baies de raisin.
- L'apport d'urée foliaire est plus efficace à la véraison qu'à la floraison pour augmenter la teneur en azote assimilable du moût.
- Le raisin est l'organe qui possède la plus grande force d'appel de l'azote quelle que soit la période d'application de l'urée foliaire.
- La compétition pour l'azote entre organes reproducteurs (raisins) et végétatifs (feuillage) est moins forte au moment de la véraison.
- L'apport d'urée foliaire à la véraison favorise également la mise en réserve de l'azote dans le tronc et les racines pour la saison suivante. ■

Remerciements

La préparation des échantillons dans le cadre de cet essai a demandé un investissement particulier. Aussi, les auteurs remercient toute l'équipe technique d'Agroscope à Pully et en particulier Philippe Duruz pour son aide à l'arrachage des ceps. Merci à l'équipe du laboratoire Sol-Conseil pour le soin apporté au séchage et au broyage des échantillons. Merci à Katia Gindro pour la lyophilisation des moûts. Enfin, merci au laboratoire de l'Institut des sciences en denrées alimentaires d'Agroscope à Changins pour toutes les analyses réalisées sur les moûts.

Bibliographie

- Agenbach W. A., 1977. A study of must nitrogen concentration in relation to incomplete fermentations, yeast production and fermentation activity. Beukman E.F. (ed.). Proceedings South African Society for Enology and Viticulture, novembre 1977, Cape Town, South Africa (South African Society for Enology and Viticulture: Stellenbosch, South Africa), 66–87.
- Lasa B., Menendez S., Sagastizabal K., Cervantes M. E. C., Irigoyen I., Muro J., Aparicio-Tejo P. M. & Ariz I., 2012. Foliar application of urea to 'Sauvignon Blanc' and 'Merlot' vines: doses and time of application. *Plant Growth Regulation* **67**, 73–81.
- Bell S.-J. & Henschke P. A., 2005. Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **11**, 242–295.
- Conradie W. J., 1986. Utilization of nitrogen by the grape-vine as affected by time of application and soil type. *South African Journal of Enology and Viticulture* **7**, 76–83.
- Conradie W. J., 1990. Distribution and translocation of nitrogen absorbed during late spring by two-year-old grapevines grown in sand culture. *American Journal of Enology and Viticulture* **41**, 241–250.
- Dufourcq T., Charrier F., Poupault P., Schneider R., Gontier L. & Serrano E., 2009. Foliar spraying of nitrogen and sulfur at veraison: a viticultural technique to improve aromatic composition of white and rosés wines. Proceedings XVth International GiESCO Symposium, 12–15 July 2009, Davis, CA, USA, 379–383.
- Garde-Cerdan T., Lorenzo C., Lara J. F., Pardo F., Ancin-Azpilicueta C. & Salinas M. R., 2009. Study of the evolution of nitrogen compounds during grape ripening. Application to differentiate grape varieties and cultivated systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **57**, 2410–2419.
- Glad C., Farineau J., Regnard J.-L. & Morot-Gaudry J.-F., 1994. The relative contribution of nitrogen originating from two seasonal ^{15}N supplies to the total nitrogen pool present in the bleeding sap and in whole *Vitis vinifera* cv. Pinot noir grapevines at bloom time. *American Journal of Enology and Viticulture* **45**, 327–332.
- Hannam K. D., Neilsen G. H., Forge T. & Neilsen D., 2013. The concentration of yeast assimilable nitrogen in Merlot grape juice is increased by N fertilization and reduced irrigation. *Canadian Journal of Plant Science* **93**, 37–45.
- Jakovljevic M., Licina V. & Stajkovic M., 1995. Investigation of nitrogen uptake from fertilizers applied to grapevine. *Review of Research Work at the Faculty of Agriculture* **40**, 91–95.
- Lacroux F., Tregouat O., van Leeuwen C., Pons A., Tominaga T., Lavigne-Cruège V. & Dubourdieu D., 2008. Effect of foliar nitrogen and sulfur application on aromatic expression of *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* **42**, 125–132.
- Lorenzini F. & Vuichard F., 2012. Ajout d'acides aminés aux moûts et qualité des vins. *Revue suisse de Vitic., Arboric., Hortic.* **44**, 96–103.
- Porro D., Stefanini M., Dorigatti C., Ziller L., Camin F. & Policarpo M., 2006. Ripartizione dell'Azoto in diversi organi aerei della vite in relazione a tempo e modalità di somministrazione fogliare. *Italus Hortus* **13**, 74–79.
- Porro D., Stefanini M., Dorigatti C., Ziller L., Camin F. & Policarpo M., 2010.

Summary

Nitrogen partitioning in grapevine: effect of foliar-urea fertilization timing

In a situation of deficiency in grape must, the yeast assimilable nitrogen (YAN) can be enhanced through foliar nitrogen fertilization on the vines. A trial was carried out at Agroscope, in which foliar urea was applied on the vines (*Vitis vinifera* L. Chasselas), at flowering or at veraison. The use of ^{15}N -labelled urea (10 atom% ^{15}N) allowed describing the effect of the period of supply on nitrogen distribution in the vine. Bunches showed the highest concentration N originating from foliar urea among all of the organs during both of fertilisation periods. The highest YAN in the must, however, was obtained when the urea was applied during veraison. Foliar urea on the vine is significantly more efficient when applied at veraison with the aim of increasing the YAN concentration of a nitrogen-deficient must.

Key words: ^{15}N -labelled urea, Chasselas, yeast assimilable nitrogen, foliar fertilisation, partitioning.

Zusammenfassung

Stickstoffverteilung in der Rebe: Einfluss des Zeitpunkts der Blattharnstoffgabe

Ein Mangel an hefeverwertbarem Stickstoff (YAN) im Traubenmost kann durch eine Stickstoffversorgung der Rebe in Form von Blattharnstoff ausgeglichen werden. Im Rahmen eines 2012 bei Agroscope in Pully durchgeführten Versuchs erfolgte eine Blattharnstoffgabe bei der Rebe (*Vitis vinifera* cv. Chasselas) zum Zeitpunkt der Blüte oder bei beginnenden Beerenreife. Durch die Verwendung von isotope markiertem Harnstoff (10 atom% ^{15}N) konnte der Einfluss des Zeitpunkts der Harnstoffgabe auf die Verteilung des Stickstoffs in der Pflanze untersucht werden. Unabhängig vom Zeitpunkt der Gabe wurde die höchste Konzentration an Stickstoff aus den Harnstoffgaben in den Trauben gemessen. Der höchste Gehalt an verwertbarem Stickstoff im Most wurde jedoch beobachtet, wenn der Harnstoff bei beginnender Beerenreife zugeführt wurde. Eine Blattharnstoffgabe bei beginnender Beerenreife erhöhte den Gehalt an verwertbarem Stickstoff in einem ursprünglich mangelhaften Most am wirkungsvollsten.

Riassunto

Distribuzione dell'azoto nella vite: impatto del periodo di applicazione dell'urea fogliare

La carenza di azoto assimilabile dai lieviti (YAN) nel mosto dell'uva può essere corretta alla vite sotto forma di urea fogliare. Nel corso di una sperimentazione condotta nel 2012 presso Agroscope a Pully, alla vite (*Vitis vinifera* cv. Chasselas) è stata applicata dell'urea fogliare alla fioritura o all'invaiaitura. L'impiego di urea marcata isotopicamente (10 atom% ^{15}N) ha permesso di valutare l'impatto del periodo di applicazione dell'urea sulla distribuzione dell'azoto nella vite. Indipendentemente dal periodo di applicazione, la più grande concentrazione di azoto legato all'applicazione d'urea fogliare è stata misurata nei grappoli. Il maggior tenore di azoto assimilabile nel mosto è stato invece osservato nel caso dell'applicazione dell'urea all'invaiaitura. In conclusione, l'apporto di urea fogliare è significativamente più efficace all'invaiaitura per aumentare il tenore di azoto assimilabile di un mosto inizialmente carente.

Nitrogen Foliar Uptake and Partitioning in «Cabernet Sauvignon» Grapevines. Pestana M. et Correia P. J. (eds.). Proceedings VIth International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops, juin 2010, Faro, Portugal (ISHS *Acta Horticulturae*), 185–190.

- Reynard J.-S., Zufferey V., Nicole G. & Murisier F., 2011. Soil parameters impact the vine-fruit-wine continuum by altering vine nitrogen status. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 45, 211–221.
- Rodriguez-Lovelle B. & Gaudillère J. P., 2002. Carbon and nitrogen partitioning in either fruiting or non-fruiting grapevines: effects of nitrogen limitation before and after veraison. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 8, 86–94.
- Schreiber A.T., Merkt N., Blaich R. & Fox R., 2002. Distribution of foliar applied labelled nitrogen in grapevines (*Vitis vinifera* L., cv. Riesling). Tagliavini M., Toselli M., Bertschinger L., Brown P., Neilsen D. & Thalheimer M. (eds.). Proceedings of the international symposium on foliar nutrition of perennial

fruit plants, 11–15 September 2001, Merano, Italy (International Society for Horticultural Science: Vienna, Austria), 139–145.

- Spring J.-L. & Lorenzini F., 2006. Effet de la pulvérisation foliaire d'urée sur l'alimentation azotée et la qualité du Chasselas en vigne enherbée. *Revue suisse de Vitic., Arboric., Hortic.* 38, 105–113.
- Spring J.-L., Verdenal T., Zufferey V., Gindro K. & Viret O., 2012. Influence du porte-greffe sur le comportement du cépage Cornalin du Valais central. *Revue suisse de Vitic., Arboric., Hortic.* 44, 298–307.
- Verdenal T., Spangenberg J. E., Zufferey V., Lorenzini F., Spring J.-L. & Viret O., 2015. Effect of fertilisation timing on the partitioning of foliar-applied nitrogen in *Vitis vinifera* cv. Chasselas: a ^{15}N labelling approach. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 21, 110–117.
- Zufferey V., Spring J.-L., Verdenal T. & Viret O., 2010. Comportement du Pinot noir dans les conditions du vignoble valaisan. *Revue suisse de Vitic., Arboric., Hortic.* 42, 376–383.