



Fumure azotée et performances agronomiques de variétés de blé et de triticale

L. LEVY et R. SCHWAERZEL, Agroscope Changins-Wädenswil ACW, CP 1012, 1260 Nyon

@ E-mail: lilia.levy@acw.admin.ch
Tél. (+41) 22 36 34 718..

@ E-mail: ruedi.schwaerzel@acw.admin.ch
Tél. (+41) 22 36 34 719.

Résumé

Une série d'essais de fumure azotée à doses croissantes a été conduite pendant trois ans dans deux lieux d'essais pour évaluer l'influence de l'azote sur le rendement, la qualité et l'efficacité d'utilisation de l'azote de différentes variétés de blé et de triticale (types fourragers) et de la variété Arina (blé panifiable). Pour un apport d'azote identique, les variétés de blé fourrager sont 20 à 30% plus productives que les blés panifiables. Grâce à leur potentiel de rendement élevé, les variétés de blé fourrager produisent plus de protéines par ha malgré leur teneur de 2 à 3% plus faible dans le grain. Néanmoins, le gain marginal en protéines et de rendement diminue avec l'intensité de la fumure azotée.

de l'utilisation de l'azote (Beauchamp *et al.*, 1976; Chevalier et Schrader, 1977; Moll et Kamprath, 1977; Pollmer *et al.*, 1979; Reed *et al.*, 1980).

L'objectif de cette étude consiste à comparer le potentiel et la qualité de variétés de type fourrager à ceux de blé de type panifiable. Le rendement, l'efficacité d'utilisation de l'apport d'azote et l'évolution de la qualité de quatre variétés de blé et de triticale ont été comparés.

Matériel et méthodes

De 2004 à 2006, Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) a conduit des essais de fumure azotée à doses croissantes.

Les essais ont eu lieu à Changins (420 m, VD) et à Goumoens-la-Ville (610 m, VD). Les deux sites d'essais ont des conditions climatiques et pédologiques relativement

Introduction

En comparaison internationale, l'agriculture suisse est relativement extensive, puisque les exigences environnementales (les prestations écologiques requises, PER) et la conduite des cultures à faible niveau d'intrants (mode de culture «extenso») sont rétribuées. L'introduction de variétés de blé fourrager à potentiel de rendement supérieur a suscité des questions sur la dose d'azote optimale à appliquer, l'intensité de la conduite et le choix de la variété. Pour les fabricants d'aliments, l'utilisation de variétés de blé fourrager dans les mélanges fourragers et non plus, comme par le passé, de blé de bonne qualité boulangère déclassé modifie la valeur nutritive. Les principales caractéristiques recherchées dans les céréales fourragères concernent l'énergie, les protéines, les acides gras, les vitamines et les minéraux. Pour mieux adapter l'offre à la demande et réduire le déclassé coûteux de blé panifiable en blé fourrager, l'interprofession a favorisé la culture de blé fourrager.

Avec le prix élevé des engrais azotés, l'efficacité de l'utilisation de la fumure azotée devient un facteur important. Il est connu que les variétés réagissent de façon différente à la fumure azotée, notamment sur le plan de l'absorption et



Essai de fumure azotée à Goumoens-la-Ville en 2005 (photo R. Schwärzel, ACW).



Différentes variétés de blé d'automne à Changins en 2004 (photo C. Brabant, ACW).

distinctes. Les conditions à Changins sont moins favorables avec des terrains argileux, un taux de matière organique moyen (2,3%) et des sols peu profonds. A Goumoens-la-Ville, les sols sont plus limoneux, plus profonds avec un taux de matière organique de 3%. Les rendements obtenus à Changins pour les céréales sont souvent inférieurs à ceux de Goumoens. Les conditions climatiques pour les trois années d'étude ont été normales, en termes de température, avec des moyennes un peu plus élevées à Changins qu'à Goumoens. Le printemps a été plus sec (entre mars et juin, 193 mm de précipitations) en 2004 qu'en 2005 (330 mm) et 2006 (388 mm).

Le dispositif expérimental était de type factoriel avec la fumure azotée (quatre niveaux) et le génotype (quatre variétés) comme facteurs expérimentaux répétés dans quatre blocs pour chaque lieu d'expérimentation. Les variétés de blé Arina (classe de qualité 1), Drifter et Winnetou (blés fourragers) et, à titre de comparaison, une lignée moderne de triticales à paille courte (911.53019) ont été semées à 350 grains/m². La surface des parcelles individuelles récoltées était de 12 m².

La dose d'azote idéale a été calculée d'après la méthode des normes corrigées (méthode par estimation) des données de base pour la fumure (Ryser *et al.*, 2001). Quatre doses différentes de fumure azotée ont été appliquées: la dose idéale (norme corrigée, NC), NC moins 40 unités d'azote, NC plus 40 unités et NC plus 80 unités d'azote. En moyenne des trois années d'essais, la fumure appliquée était de 65 kg N/ha (N-40), 105 kg N/ha (N), 145 kg N/ha (N+40) et 185 kg N/ha (N+80). La fumure a été appliquée sous forme de nitrate d'ammoniaque (27,5% N) en 2-3 apports, à la reprise de la végétation après l'hiver (CD21), au stade 1^{er} nœud (CD31) et à l'apparition de la dernière feuille (CD37). Les parcelles ont été

désherbées chimiquement, en général une fois au printemps. Selon la pression des maladies foliaires, un traitement fongicide a été appliqué. Les céréales ont été traitées systématiquement avec un régulateur de croissance (Moddus à 0,4 l/ha) au stade CD31 à 32 (1 ou 2 nœuds).

Le rendement et les autres caractéristiques agronomiques ont été déterminés pour chaque procédé et répétition. Le taux de protéines a été mesuré à l'aide d'une analyse dans l'infrarouge proche (NIRS). Le poids à l'hectolitre (PHL) a été obtenu avec un appareil Dickey John standard et le poids de mille grains (PMG) déterminé à l'aide d'un compteur à grains et d'une balance. En 2006, des analyses par titration, calorimétrie et AAS-ICP ont été réalisées sur les échantillons de Goumoens-la-Ville (par procédé, les quatre répétitions confondues) afin de déterminer les teneurs en azote (N) dans les pailles et les grains. La production de biomasse de paille a été déterminée en pesant la partie aérienne de la parcelle après le battage. Les étroubles de toutes les parcelles (barre de coupe à environ 10 cm du sol) ainsi que le système racinaire n'ont pas été pris en compte.

L'approche de Moll *et al.* (1982) a été utilisée pour décrire l'efficacité de l'utilisation de la fumure N:

- efficacité de l'utilisation de l'azote: unités de grain produites [kg/ha] par unité de N apportée [kg/ha]
- efficacité de l'utilisation: unités de grain produites [kg/ha] par unité de N prélevé par la plante (paille et grain) [kg/ha]
- efficacité du prélèvement: unités de N prélevées par la plante (paille et grain) [kg/ha] par unité de N apportée [kg/ha]
- efficacité de translocation: unités de N dans le grain [kg/ha] par unité de N prélevée par la plante (paille et grain) [kg/ha]

- Le traitement de toutes les données a été réalisé avec le logiciel WIDAS (*Web-enabled Information Delivery and Analysis System*). Une analyse de variance a été effectuée sur les paramètres agronomiques (données par répétition) en utilisant les résultats des cinq essais conduits (l'essai à Changins en 2004 n'a pas pu être mis en valeur). Des coefficients de corrélation d'après Pearson ont été calculés entre les différents paramètres.

Résultats et discussion

Winnetou, la variété la plus productive, se distingue par un **rendement en grains** presque 30% supérieur à celui d'Arina (traditionnellement affouragé en tant que blé déclassé; fig.1). La lignée de triticales 911.53019 montre un rendement plutôt faible, toutefois meilleur que celui d'Arina. Cette lignée de triticales, choisie à une étape précoce de la sélection, n'a pas tenu ses promesses et n'est pas représentative pour les triticales. Les différences de rendement entre variétés étaient hautement significatives, de même que l'effet de la fumure azotée sur le rendement (tabl.1). Toutefois, la variabilité du rendement n'est que faiblement expliquée par la fumure azotée (le coefficient de détermination R² par variété allant de 0,15 à 0,09). Les facteurs «variété» et «essai» ont davantage influencé le rendement que la fumure azotée, comme l'indique la valeur de F pour chacun de ces facteurs expérimentaux (tabl.1). Les éléments pédo-climatiques inclus dans le facteur «essai», comme la disponibilité en eau pendant la période de végétation ou le type du sol, sont donc plus importants pour l'obtention d'un rendement élevé que l'augmentation de la dose d'azote. Ces résultats sont conformes aux conclusions de Walther (1996), qui affirmait que le niveau de rendement d'un site est déterminé en premier lieu par le climat et les propriétés pédologiques. La fumure azotée n'est qu'un moyen d'exploiter le potentiel de rendement d'un site. Pour le rendement en grains, aucune interaction n'a été constatée entre la variété et la fumure, ce qui signifie que, dans les conditions de cette expérimentation, toutes les variétés testées ont eu une réponse semblable à la fumure azotée.

De même pour tous les autres **paramètres agronomiques** analysés, la variété et l'essai (climat et sol) sont les facteurs de variabilité les plus importants. La fumure azotée n'a pas eu d'effets statistiquement significatifs sur les pertes au triage, ni sur la verse ni sur le poids de mille grains. La hauteur des

plantes est influencée par la fumure azotée, dans les limites génétiquement déterminées pour la variété. Le poids à l'hectolitre est légèrement amélioré par la fumure azotée, mais de façon insignifiante comparé à l'effet de la variété qui est 200 fois plus important (tabl.1). Ducsay et Lozek (2004) n'ont pas trouvé une influence marquée de la fumure azotée sur le poids à l'hectolitre ou sur le poids de mille grains. En étudiant l'effet de la fumure azotée sur la qualité boulangère à un niveau de fumure plus intensif, Varga *et al.* (2003) ont

constaté, conformément à nos résultats, un effet faible, mais statistiquement significatif de la fumure azotée sur le poids à l'hectolitre (augmentation de 1,9%). De même, ils n'ont pas trouvé d'effet sur le poids de mille grains. Il est souvent admis que le rendement et la teneur en protéines du grain sont négativement corrélés (Waldon, 1933; Grant et McCalla, 1949; Stuber *et al.*, 1962). Heitholt *et al.* (1989) décrivent un coefficient de corrélation r de -0,43 à -0,60. Dans nos essais, la corrélation positive entre le rendement et la teneur

en protéines du grain (r par essai de 0,47 à 0,82) montre que ces deux paramètres peuvent être améliorés simultanément par une fumure azotée plus élevée. Néanmoins, le gain marginal en rendement et en protéines diminue avec l'augmentation de la fumure N (fig.1). Trente-neuf pour-cent de la variabilité de la teneur en protéines dans le grain sont expliqués par la fumure N (R^2 moyen des essais = 0,39) alors que seuls 11% de la variabilité du rendement dépendent de la fumure N (R^2 moyen des essais = 0,11).

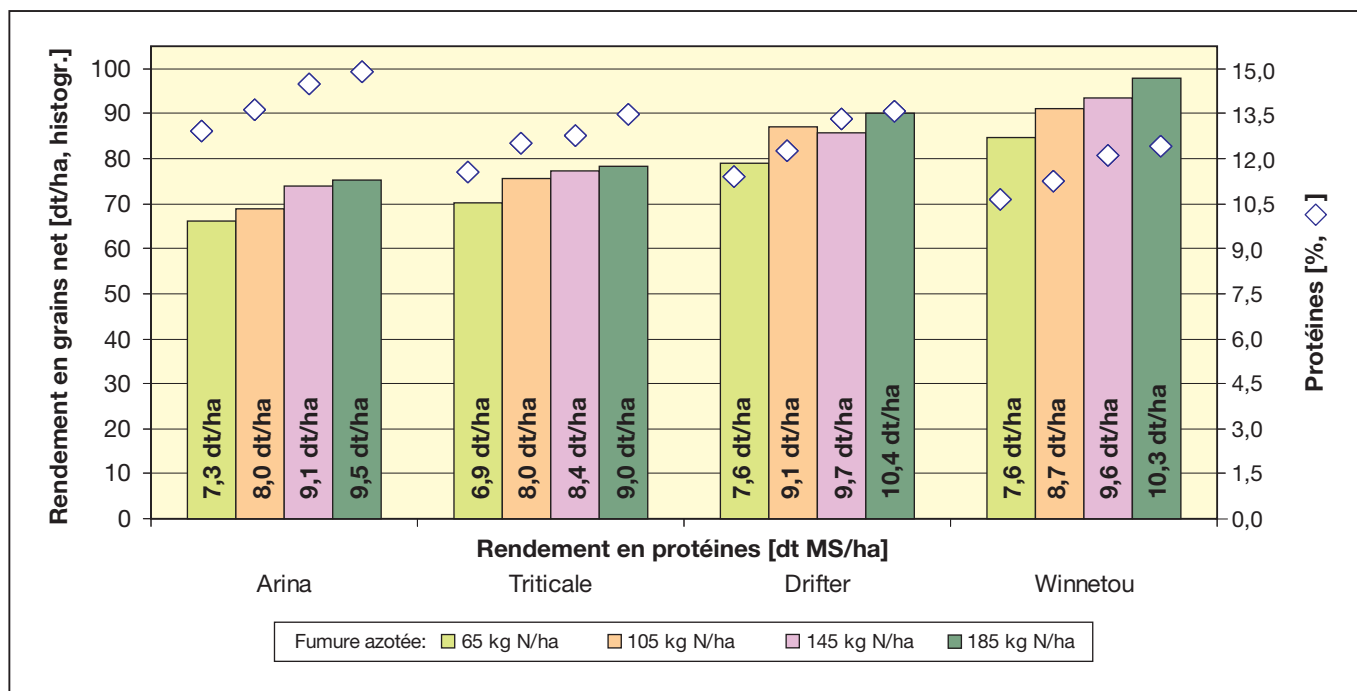


Fig. 1. Rendement en grains (histogrammes), teneur () et rendement en protéines (valeurs chiffrées) des variétés cultivées à des doses croissantes de fumure azotée. Deux variétés de blé fourrager non panifiables (Drifter et Winnetou), une variété de blé panifiable de classe 1 (Arina) et une lignée de triticale ont été comparées. Moyenne des cinq essais conduits de 2004 à 2006 à Changins et à Goumoens-la-Ville. Les résultats de l'analyse de variance sur le rendement en grains sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1. Valeur de F des facteurs variété, fumure azotée et essai ainsi que de leurs interactions pour divers paramètres agromonomiques (analyse de variance sur 320 valeurs par paramètre; le facteur essai correspond à une combinaison lieu × année).

Composantes de la variance	Rendement en grains	Pertes au triage	Hauteur des plantes	Verse	Poids à l'hectolitre	Poids de mille grains
Variété (3)	285,54***	170,98***	867,67***	12,52***	1857,64***	281,44***
Fumure azotée (3)	63,41***	2,45	24,64***	2,08	7,86***	1,41
Essai (4)	219,77***	157,69***	325,41***	25,30***	375,53***	908,48***
Bloc (3)	10,04***	2,76*	5,76***	0,55	14,82***	0,80
Variété × fumure	1,69	4,34***	2,14*	1,17	6,91***	1,10
Variété × essai	7,90***	31,88***	22,97***	12,52***	79,77**	41,96***
Variété × bloc	3,00**	2,13*	2,29*	0,37	2,18*	0,97
Fumure × essai	7,94***	2,56**	2,24*	2,08*	10,81***	2,51**
Fumure × bloc	1,44	0,90	1,54	0,79	0,31	0,52
Essai × bloc	8,35***	1,87*	10,98***	0,55	3,53***	2,44**

() = degrés de liberté; *** significatif à 0,1%; ** significatif à 1%; * significatif à 5%.
Essai = 1 lieu × 1 année.

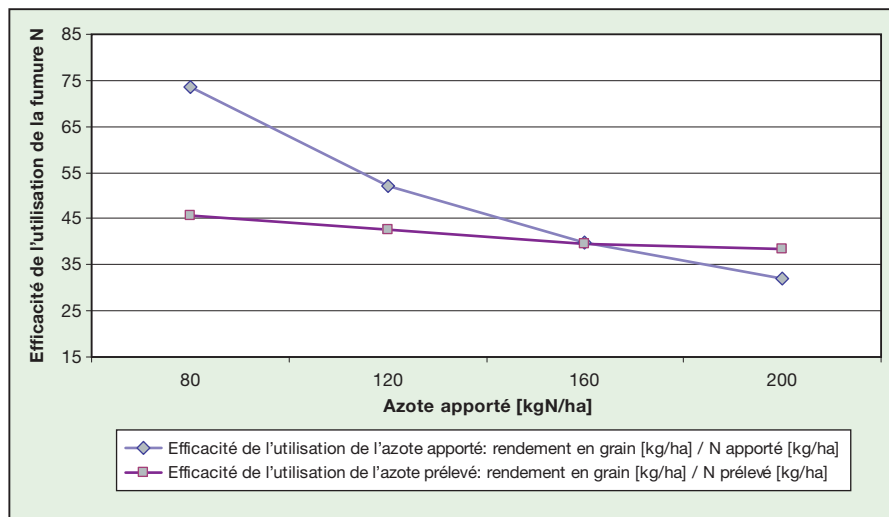


Fig. 2. Comparaison de l'efficacité de l'utilisation de l'azote et efficacité de l'utilisation (d'après Moll *et al.*, 1982) pour quatre doses d'azote. Moyenne des quatre variétés à Goumoens-la-Ville en 2006.

La réduction du gain marginal à chaque augmentation de la fumure N se traduit par une **perte d'efficacité**. La figure 2 montre comment deux de ces indicateurs (l'efficacité de l'utilisation de l'azote apporté et l'efficacité de l'utilisation de l'azote prélevé) diminuent à chaque apport d'azote supplémentaire. Deux indicateurs supplémentaires sont présentés dans le tableau 2, soit l'efficacité de prélèvement et l'efficacité de translocation. Comme pour les indicateurs précédents, l'efficacité du prélèvement diminue à chaque augmentation de fumure azotée. Ce coefficient, initialement nettement supérieur à 1,0, diminue et atteint l'équi-

libre (1,0) lors d'un apport de 160 unités d'azote. Lorsque la fumure azotée dépasse ce seuil, la plante absorbe moins d'azote que la quantité apportée par la fumure. En ce qui concerne l'efficacité de translocation, aucune tendance n'a pu être observée quant à l'effet de la fumure azotée. Quel que soit le niveau d'azote disponible, la proportion entre l'azote dans le grain et l'azote dans la plante entière reste semblable. Heitholt *et al.* (1989) décrivent des coefficients de translocation de N dans leurs essais aux Etats-Unis de 0,55 à 0,78. Les coefficients de translocation dans notre étude sont plus élevés. Cela s'explique

partiellement par l'application réussie d'un régulateur de croissance. Les plantes étant assez courtes, le prélèvement par la paille est plutôt modeste. D'ailleurs, les rendements en grain obtenus dans nos essais dépassent les rendements des essais de Heitholt *et al.* (1989) d'environ 25 dt/ha. Winnetou, la variété au rendement le plus élevé, montre les coefficients les plus intéressants pour tous les indicateurs d'efficacité étudiés.

La production de **biomasse** est également présentée dans le tableau 2. Tant la biomasse des grains que celle de la paille augmentent significativement entre les niveaux de fumure N-40 (80 kg N/ha dans cet essai) et N (120 kg N/ha). Les doses d'azote supérieures n'améliorent pas l'efficacité de production (grain ou plante). Ces résultats indiquent également que l'efficacité de l'azote est maximale à la dose optimale calculée selon les données de base pour la fumure (Ryser *et al.*, 2001). Récemment, Prométerre a diffusé les résultats de trois ans d'enquête sur le blé fourrager auprès des producteurs vaudois (Perrin, 2008). Ces résultats empiriques montrent aussi qu'une fumure dépassant 180 kg N/ha n'a plus d'effet sur le rendement. Zebarth et Sheard (1992) ont obtenu des résultats similaires au Canada: la hausse de rendement en grains et en paille est nettement plus importante avec le premier accroissement de fumure azotée qu'avec les suivants.

Tableau 2. Efficacité de prélèvement et de translocation de l'azote (d'après Moll *et al.*, 1982) et production de biomasse pour les quatre variétés et pour chaque niveau de fumure azotée à Goumoens-la-Ville en 2006.

Facteurs	Efficacité de		Production de biomasse	
	Prélèvement	Translocation	Grain [dt/ha]	Plante [dt/ha]
Variété				
Arina	1,10	0,87	54,9	108,7
Drifter	1,13	0,89	63,9	115,2
Winnetou	1,26	0,89	71,8	130,8
Trit 911.53019	1,18	0,82	58,2	111,7
Fumure				
80 kg N/ha	1,62	0,88	58,9	110,6
120 kg N/ha	1,22	0,87	62,4	118,3
160 kg N/ha	1,00	0,86	63,6	118,5
200 kg N/ha	0,83	0,87	63,9	119,0
Analyse statistique				
PPDS 95%	0,04	0,01	2,34	5,38
PPDS 99%	0,05	0,01	3,12	7,19
CV	4,87	1,46	5,28	6,49
Interaction	**	**	ns	*

** = significatif à 1%; * = significatif à 5%; ns = non significatif; CV = coefficient de variation.

Conclusions

- ❑ Les variétés de blé fourrager testées sont 20 à 30% plus productives que la variété panifiable Arina, indépendamment de la dose d'azote apportée. Grâce à leur rendement élevé, leur production en protéines est de 40 à 90 kg MS/ha plus élevée, malgré des teneurs en protéines environ 2% plus basses.
- ❑ Globalement, la teneur en protéines et le rendement en grains augmentent avec des doses croissantes d'azote (coefficient de corrélation r de 0,47 à 0,82).
- ❑ Les gains marginaux en protéines et grains diminuent considérablement à chaque apport supplémentaire de fumure azotée, ce qui se traduit par une diminution d'utilisation et de prélèvement de l'azote.
- ❑ Le poids à l'hectolitre n'a augmenté que très faiblement avec l'accroissement de la fumure azotée (0,5 kg/hl pour un accroissement de 120 kg N/ha).

Remerciements

Nous tenons à remercier M. Del Rizzo, d'Agroscope ACW, pour la conduite des essais en champ, I. Lavoie-Fleury pour la recherche de littérature et N. Crozet pour l'aide rédactionnelle. Sans l'assistance technique de W. Schild, d'Agroscope ACW, nous n'aurions pas pu réaliser les analyses NIRS.

Bibliographie

- Beauchamp E. G., Kannenberg L. W. & Hunter R. B., 1976. Nitrogen accumulation and translocation in corn genotypes following silking. *Agronomy Journal* **68**, 418-422.
- Chevalier P. & Schrader L. E., 1977. Genotypic differences in nitrate absorption and partitioning of N among plant parts. *Crop Science* **17**, 897-901.
- Ducsay L. & Lozek O., 2004. Effect of topdressing with nitrogen on the yield and quality of winter wheat grain. *Plant soil environ.* **50**, 309-314.
- Grant M. N. & McCalla A. G., 1949. Yield and protein content of wheat and barley. I. Interrelations of yields and protein content of random selections from single crosses. *Canad. J. Res. (Sect. C)* **27**, 230-240.
- Heitholt J. J., Croy L. I., Maness N. O. & Nguyen H. T., 1989. Nitrogen Partitioning in Genotypes of Winter Wheat Differing in Grain N Concentration. *Field Crops Research* **23**, 133-144.
- Moll R. H., Kamprath E. J. & Jackson W. A., 1982. Analysis and Interpretation of Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization. *Agronomy Journal* **74**, 562-564.
- Moll R. H. & Kamprath E. J., 1977. Effects of population density upon agronomic traits associated with genetic increases in yield of *Zea mays* L. *Agronomy Journal* **69**, 81-84.
- Perrin P.Y., 2008. Trois ans d'enquête sur le blé fourrager. *Agri* 5 déc., 22.
- Pollmeier W. G., Eberhard D., Klein D. & Dhillon B. S., 1979. Genetic control of nitrogen uptake and translocation in maize. *Crop. Sci.* **19**, 82-86.
- Reed A. J., Below F. E. & Hageman R. H., 1980. Grain protein accumulation and the relationship between leaf nitrate reductase and protease activities during grain development in maize. I. Variation between genotypes. *Plant physiol.* **53**, 825-826.
- Ryser J.-P., Walther U. & Flisch R., 2001. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse Agric.* **33**, 30-35.
- Stuber C. W., Johnson V. A. & Schmidt J. W., 1962. Grain protein content and its relationship to other plant and seed characters in the parents and progeny of a cross of *Triticum aestivum*. *Crop Sci.* **2**, 502-508.
- Varga B., Svecnjak Z., Jurkovic Z., Kovacevic J.

Summary

Nitrogen fertilization and agronomical performances of wheat and triticale varieties

A three years study was carried out in two experimental sites to analyse the influence of increasing nitrogen fertilization on yield, quality and nitrogen use efficiency for different varieties of forage wheat and triticale; results obtained were also compared with the performances of Arina, a bread-making variety. For an identical nitrogen contribution, the varieties of forage cereals are 20 to 30% more productive than the bread-making wheat. Thanks to their high yield potential, forage wheat varieties produce more proteins per hectare despite their 2 to 3% lower protein rate in grains. Nevertheless, the marginal profit in protein and yield decreases with each additional nitrogen contribution.

Key words: forage wheat, triticale, nitrogen fertilization, nitrogen efficiency, quality.

Zusammenfassung

Stickstoffdüngung und Ertragsleistung von Weizen und Triticale

Über drei Jahre wurde eine Studie an zwei verschiedenen Versuchstandorten zur Beurteilung der Auswirkungen einer steigenden Stickstoffdüngung auf den Kornertrag, die Qualität und die Stickstoffausnutzung von verschiedenen Futterweizen- und Futtertriticalearten durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit denen eines Brotweizens (Arina) verglichen. Auf dem gleichen N-Düngungsniveau sind die Futterweizensorten um 20 bis 30% produktiver als die Brotweizensorten. Dank ihrer hohen Kornerträge liefern die Futterweizensorten insgesamt mehr Protein pro Hektar trotz einer niedrigeren (von 2 bis 3%) Proteinmenge pro Korn. Der Grenzertrag jedoch nahm bei der Proteinmenge pro Korn und Kornertrag mit jeder zusätzlichen N-Steigerung ab.

Riassunto

Concimazione azotata e prestazioni agronomiche del frumento e del triticale

È stata realizzata una serie di prove di concimazione azotata a dosi crescenti con lo scopo di esaminare l'influenza dell'azoto sulla resa, la qualità e l'efficienza di sfruttamento di differenti varietà di frumento e triticale (tipi da foraggio) come anche della varietà Arina (frumento panificabile).

A pari apporto d'azoto, le varietà di frumento da foraggio sono da 20 a 30% più produttive dei frumenti panificabili. Grazie al loro potenziale di resa, le varietà di frumento da foraggio producono più proteina per ha, malgrado un minore contenuto nelle cariossidi. La differenza in ricavi di proteine e aumento di resa fra i due tipi si riduce man mano che le dosi d'azoto aumentano.

& Jukic Z., 2003. Wheat grain and flour quality as affected by cropping intensity. *Food Technol. Biotechnol.* **41**, 321-329.

Waldon L. R., 1933. Yield and protein content of hard red spring wheat under conditions of high temperature and low moisture. *J. Agric. Res.* **47**, 129-149.

Walther U., 1996. Fumure N grandes cultures: indépendante du niveau de rendement. *UFA* **3**, 18-20.

Zebarth B. J. & Sheard R. W., 1992. Influence of rate and timing of nitrogen fertilization on yield and quality of hard red winter wheat in Ontario. *Can. J. Plant Sci.* **72**, 13-19.



Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages

Les DBF-GCH 2009 sont la somme des connaissances actuelles en Suisse en matière de fumure pour les grandes cultures et les surfaces herbagères.

- Les besoins en éléments fertilisants des cultures assolées et des prairies.
- Les teneurs en nutriments des engrais de ferme, composts et résidus de récolte.
- Les méthodes d'analyses de sol et des plantes.
- La manière d'apporter des amendements et d'entretenir le sol tout en ménageant l'environnement.

CHF 20.-

COMMANDE: AMTRA, Agroscope Changins-Wädenswil ACW, CP 1012, 1260 Nyon 1
Tél. ++41 22 363 41 51 – Fax ++41 22 363 41 55 – E-mail: cathy.platiau@acw.admin.ch