植物营养与肥料学报 2002,8(2):224～228
Plant Nutrition and Fertilizer Science

钼、氮肥配合施用对冬小麦子粒蛋白质及其氨基酸组成的影响

胡承孝,王运华,谭启玲,魏文学
(华中农业大学微量元素研究室,湖北武汉 430070)

摘要:盆栽试验结果表明,施钼和缺钼时,氮肥对冬小麦的增产率分别为319.9%和174.0%;冬小麦子粒中蛋白氮、清蛋白氮、醇溶蛋白氮含量,面粉蛋白质氨基酸总量及其氨基酸组分的含量以及谷氨酸、脯氨酸的比例等随氮肥水平提高而增加;但冬小麦面粉中游离天门冬氨酸和苏氨酸的含量和比例降低,游离氨基酸含量在缺钼时提高了38.3%,施钼时则下降了37.1%。在高、低氮肥水平下施钼,冬小麦子粒中蛋白质含量没有明显影响,但分子量小的蛋白质含量及其占总量的比例下降,清蛋白比例分别下降14.5、6.6个百分点;而大分子量蛋白质含量和比例均提高。在不同施氮水平下缺钼冬小麦子粒中游离氨基酸含量比施钼分别高48.0%和152.6%,且亲水性氨基酸比例增加。缺钼冬小麦子粒中低分子量蛋白质、游离氨基酸以及亲水性氨基酸的增加,可能是诱发缺钼冬小麦子粒低休眠度以及出现收获前萌芽的重要原因。

关键词:钼营养;冬小麦;蛋白质;氨基酸
中图分类号:S512.106.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2002)02-0224-05

Effect of molybdenum and nitrogen fertilizers on free amino acid, protein and its amino acid composition of winter wheat grains

HU Cheng-xiao, WANG Yun-hua, TAN Qi-lin, WEI Wen-xue
(*Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China*)

Abstract: Pot culture experiment was conducted with a yellow-brown earth collected from Xinzhou, Wuhan, Hubei, China, to study the effect of molybdenum and nitrogen fertilizers on free amino acid, protein and its amino acid composition of winter wheat grains. The main results were showed as follows: the contents of protein, albumin, prolamine, protein amino acid and its compositions, and the percentages of the glutamic and proline to total amino acid were all increased, but the contents and percentages of free aspartic acid and threonine in wheat flour were decreased by nitrogen fertilizer application regardless of molybdenum utilization. The content of free amino acid in wheat flour was raised by increasing rate of nitrogen application without molybdenum, and decreased with molybdenum application. Even though there was no effect of molybdenum application on content of protein in wheat grains, the ratio and content of low molecular weight protein was reduced and the high ones was increased by molybdenum utilization, and a large quantity of free amino acid particularly the hydrophilic amino acid was accumulated in grains of molybdenum deficient wheat, whether the application rate of nitrogen fertilizer was high or low. The accumulations of low molecular weight protein, free amino acid and the hydrophilic ones in grains of molybdenum deficient wheat especially with the high rate of nitrogen application might be the main reason of low seed dormancy of wheat induced by molybdenum deficiency.

Key words: molybdenum; wheat; protein; amino acid

收稿日期:2001-04-23
基金项目:国家自然科学基金(39770428);湖北省自然科学基金(97J054)资助项目。
作者简介:胡承孝(1964—),男,湖南省新田县人,博士,副教授,主要从事微量元素营养方面的研究。

早在 20 世纪 50 年代初期，就报道在澳大利亚的酸性土壤上施用钼肥能提高小麦产量[1]。我国 70 年代中期以后也相继报道山西、山东、江西、江苏、四川、陕西等地冬小麦施用钼肥增产，但未作深入研究。1989 年王运华等在湖北新洲发现酸性黄棕壤缺钼导致冬小麦越冬期黄化死苗；施用钼肥能通过促进小麦壮苗、壮蘖、早熟、多穗而显著提高冬小麦产量。多年试验结果表明，冬小麦施用钼肥已成为湖北省小麦主产区小麦高产稳产的重要措施[2~6]。钼肥还影响小麦子粒品质，王运华等报道，尽管施钼小麦子粒蛋白质含量略低于对照，但蛋白氮、非蛋白氮比例及面筋含量增大，并能减少子粒中硝酸盐和亚硝酸盐对人体的危害[5]；但晚期根外追施尿素时添加钼能增加冬小麦子粒中粗蛋白、面筋的含量并提高子粒透明度[7]。施钼还使面粉中大分子量蛋白质增加，但小分子量蛋白质含量下降，使面粉中含脂肪侧链的丙氨酸、异亮氨酸和亮氨酸比例升高，而含硫氨基酸比例有所下降[8]。本文探讨钼、氮肥配合施用对冬小麦子粒中蛋白质及其氨基酸含量、组成的影响，以期为揭示钼营养与冬小麦氮代谢的关系及冬小麦钼营养功能提供依据。

1　材料与方法

盆栽用土壤采自湖北省武汉市新洲区张店乡丘陵酸性黄棕壤，试验用土基本农化性状为：pH(水提) 5.64、有机质 15.5g/kg、碱解 N 0.5mg/kg、速效 P 8.11mg/kg、速效 K 20.6mg/kg、有效 Mo 0.095 g/kg。供试小麦品种为华麦 8 号。

试验用陶瓷米氏钵内衬聚乙烯薄膜，每钵装 7.0kg，设施 N 0.05 (N_1)和 0.25 (N_2)g/kg 2 个施氮水平及施 Mo 0 (Mo_1)、0.15(Mo_2)mg/kg 2 个施钼水平，共组成 4 个处理，即：N_1Mo_1、N_1Mo_2、N_2Mo_1、N_2Mo_2，重复 5 次。试验前施底肥(g/kg) P_2O_5 0.15、K_2O 0.2。肥料以分析纯钼酸铵、硫酸铵、磷酸二氢钾、氯化钾为肥源。生长期间用去离子水浇灌，以玻璃钢瓦活动棚防雨水淋洗。

蛋白质中氨基酸及其组分测定：小麦子粒在 60℃ 下烘干，磨细过筛去麸皮，面粉样用 70% 的酒精浸提，过滤，残渣烘干用作测蛋白质氨基酸；滤液供作测游离氨基酸用。氨基酸用自动分析仪，面粉中蛋白质组分按陈毓荃方法[9]测定。

2　结果与讨论

2.1　对冬小麦产量及其生长性状的影响

在 N_1 水平下施钼，对冬小麦产量，没有显著影响；在 N_2 水平下施钼，冬小麦产量提高 37.2%，差异达显著水平，说明高氮水平下施钼，增产更为显著。不管施钼与否，提高氮素水平均明显提高冬小麦产量，施钼和不施钼时，氮肥的增产率分别为 319.9% 和 174.0%，施钼时氮肥的增产作用明显提高(表 1)。

表 1 还看出，在氮不足时(N_1)，施用钼肥并未使成熟期冬小麦株高、穗长发生明显变化；但在高氮(N_2)水平下，施用钼肥明显增加了冬小麦的株高和穗长；而在缺钼时，冬小麦株高、穗长不仅减少，而且变异系数大，整齐度下降。因此，在高氮下施用钼肥不仅增加冬小麦株高和穗长，而且使冬小麦株高整齐，麦穗大小更趋一致。

表 1　钼、氮配施对冬小麦产量及其生长性状的影响

Table 1　Effect of Mo and N combined application on yield and growth of winter wheat

处理	产量 Yield (g/pot)		株高 Height of plant		穗长 Length of spike	
Treatments	子粒 Grain	生物量 Biomass	cm	cv %	cm	cv %
N_1Mo_1	11.22 c	26.09 c	65.7 b	10.6±2.2	7.9	12.5±1.8
N_1Mo_2	10.04 c	24.20 c	65.9 b	11.3±2.6	8.0	15.7±4.8
N_2Mo_1	30.74 b	77.51 b	62.9 c	13.5±1.6	9.0	11.5±2.3
N_2Mo_2	42.16 a	99.06 a	73.7 a	7.7±0.4	9.9	7.8±0.3

2.2　对冬小麦子粒蛋白质及其组份含量的影响

表 2 表明，不管施钼与否，冬小麦子粒中蛋白质氮、清蛋白氮、醇溶蛋白氮含量均随氮肥水平提高而增加；在施钼条件下，增施氮肥使冬小麦子粒中谷蛋白氮含量也显著提高。然而，子粒蛋白质中各组分占总量的比例与含量变化不一致，不溶蛋白氮比例随氮肥水平提高而提高，球蛋白氮和谷蛋白氮比例下降。

在氮不足时(N_1)，施用钼肥使冬小麦子粒蛋白质氮含量提高但不显著，其中清蛋白、醇蛋白及谷蛋白氮占总蛋白质氮的比例均下降，不溶蛋白氮在总蛋白氮的比例却显著提高。这表明，在缺氮条件下施用钼肥能使冬小麦子粒蛋白质中高分子量蛋白质含量显著增加。在高氮水平下(N_2)，施用钼肥对冬

小麦子粒蛋白质含量影响不大,但可提高冬小麦子粒谷蛋白含量及其占总量的百分数;缺钼则提高冬小麦子粒中清蛋白氮、醇蛋白氮含量及其占总量的比例。清蛋白、醇蛋白是分子量相对较小的蛋白质,溶解性好;谷蛋白及难溶蛋白质的分子量较大。面粉中大分子量蛋白质含量高即意味着子粒中面筋质量高,施用钼肥提高冬小麦子粒高分子量蛋白质的含量及其占总蛋白质的比例,说明对改善冬小麦品质十分有利(表2)。

表2 钼、氮肥配合施用对冬小麦面粉蛋白质组分含量的影响

Table 2 Effect of Mo and N combined application on protein components of winter wheat flour

处理 Treatment	清蛋白氮 Albumin N		球蛋白氮 Globulin N		醇溶蛋白氮 Prolamine N		谷蛋白氮 Glutelin N		不溶蛋白 Insolube N	总蛋白氮 Protein N
	% DW	% of tot.N	% DW	% of tot.N	% DW	% of tot.N	% DW	% of tot.N	% of tot.N	% DW
N_1Mo_1	0.392 c	31.4	0.101 a	8.1	0.347 c	27.8	0.296 b	23.7	9.0	1.25 b
N_1Mo_2	0.237 d	16.9	0.125 a	8.9	0.335 c	23.9	0.302 b	21.6	28.7	1.40 b
N_2Mo_1	0.595 a	25.5	0.117 a	5.0	0.667 a	28.6	0.293 b	12.6	28.3	2.33 a
N_2Mo_2	0.417 b	18.9	0.122 a	5.5	0.503 b	22.8	0.387 a	17.5	35.3	2.21 a

2.3 对冬小麦面粉蛋白质中氨基酸及其组分的影响

不管施钼与否,冬小麦面粉蛋白质中氨基酸总量和谷氨酸、脯氨酸含量及其占总量的比例均随氮肥水平提高;其它氨基酸组分以及亲水、疏水性和必需氨基酸含量随氮肥水平提高而提高,但其占总量的比例下降或变化不大(表3)。

表3 钼、氮肥配施对冬小麦面粉蛋白质中氨基酸组分的影响

Table 3 Effect of Mo and N combined application on amino-acid component in protein of wheat flour

项目 Items	含量 Content(% DW)				占总量的百分数 % of total			
	N_1Mo_1	N_1Mo_2	N_2Mo_1	N_2Mo_2	N_1Mo_1	N_1Mo_2	N_2Mo_1	N_2Mo_2
天门冬氨酸 Asp	0.30	0.29	0.51	0.41	5.65	5.39	5.57	4.88
苏氨酸 Thr	0.19	0.19	0.25	0.25	3.58	3.53	2.73	3.09
丝氨酸 Ser	0.28	0.28	0.49	0.40	5.27	5.20	5.35	4.76
谷氨酸 Glu	1.40	1.55	3.02	2.86	26.36	28.81	32.97	34.01
甘氨酸 Gly	0.28	0.29	0.43	0.40	5.27	5.39	4.69	4.76
丙氨酸 Ala	0.25	0.25	0.35	0.33	4.71	4.65	3.82	3.92
胱氨酸 Cys	0.35	0.32	0.45	0.35	6.59	5.95	4.91	4.16
缬氨酸 Val	0.34	0.34	0.50	0.45	6.40	6.32	5.46	5.35
异亮氨酸 Ile	0.17	0.17	0.31	0.28	3.20	3.16	3.38	3.33
亮氨酸 Leu	0.35	0.35	0.53	0.52	6.59	6.50	5.79	6.18
酪氨酸 Tyr	0.16	0.12	0.25	0.19	3.01	2.23	2.73	2.26
苯丙氨酸 Phe	0.28	0.26	0.46	0.38	5.27	4.83	5.02	4.52
赖氨酸 Lys	0.21	0.20	0.27	0.26	3.95	3.72	2.95	3.09
组氨酸 His	0.13	0.13	0.23	0.20	2.45	2.42	2.51	2.38
精氨酸 Arg	0.27	0.26	0.24	0.36	5.08	4.83	2.62	4.28
脯氨酸 Pro	0.35	0.38	0.87	0.76	5.69	7.06	9.50	9.04
总和 Total	5.31	5.38	9.16	8.41	–	–	–	–
疏水氨基酸[1)]	2.02	2.04	3.45	3.12	38.04	37.92	37.66	37.10
亲水氨基酸[2)]	3.29	3.34	5.71	5.29	61.96	62.08	62.34	62.90
必需氨基酸[3)]	1.54	1.51	2.32	2.15	29.00	28.07	25.33	25.56

Note: 1) Hydrophobic amino-acid; 2) Hydrophilic amino-acid; 3) Essential amino-acid, same as follows.

表 3 还表明，在氮不足时(N_1)，施用钼肥对冬小麦面粉中蛋白质氨基酸总量没有明显影响，只有谷氨酸含量及其占总量的比例均因施用钼肥而明显提高。在氮充足时(N_2)，施用钼肥冬小麦面粉中蛋白质含量下降，降幅为 8.2%。氨基酸组分中，精氨酸含量增加 50.0%，其占总量的比例也有提高；而其它氨基酸组分含量则呈下降趋势，其中酪氨酸、胱氨酸、天冬氨酸、丝氨酸、苯丙氨酸和组氨酸降幅较大，分别下降 24.0%、22.2%、19.6%、18.4%、17.4% 和 15%。但钼肥对冬小麦面粉蛋白质中亲水、疏水性和必需氨基酸比例影响不大。这些结果说明，增施氮肥不仅能促进冬小麦蛋白质合成从而增加子粒蛋白质积累，而且也改变子粒蛋白质中的氨基酸组成。

2.4　对冬小麦面粉中游离氨基酸及其组分的影响

不管施钼与否，增施氮肥均显著降低冬小麦面粉中游离天门冬氨酸和苏氨酸的含量及其占总量的比例；疏水氨基酸含量及其比例随氮肥水平提高而提高。在缺钼条件下，增施氮肥使冬小麦面粉中游离氨基酸总量提高了 38.3%，其中谷氨酸、胱氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、脯氨酸的含量及其比例均随氮肥水平提高而提高。在施钼条件下，增施氮肥使冬小麦面粉中游离氨基酸总量下降了 37.1%，除胱氨酸、酪氨酸、脯氨酸的比例和苯丙氨酸含量及其占总量的比例随氮肥水平提高而增加外，其余组分含量及其比例均下降(表 4)。

不管氮肥水平高低，施用钼肥均明显降低冬小麦面粉中游离氨基酸含量，低氮水平下降 13.0%，高氮水平下降 60.4%。在低氮水平下，施用钼肥使天门冬氨酸、苏氨酸、苯丙氨酸、精氨酸含量及其比例明显下降；而丝氨酸、亮氨酸等含量和比例则提高；而在高氮水平下，施钼冬小麦面粉中许多游离氨基酸组分含量都很低，但丝氨酸、胱氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、脯氨酸等组分占总量的比例因施用钼肥而有所提高。而缺钼冬小麦子粒中积累有大量游离氨基酸，且游离氨基酸中疏水氨基酸所占比例低而亲水氨基酸所占比例提高(表 4)。

表 4　钼、氮肥配施对冬小麦面粉中游离氨基酸组分的影响

Table 4　Effect of Mo and N combined application on free amino-acid component of wheat flour

项目	含量 Content(% DW)				占总量的百分数 % of total			
Items	N_1M_1	N_1M_2	N_2M_1	N_2M_2	N_1M_1	N_1M_2	N_2M_1	N_2M_2
天门冬氨酸 Asp	0.35	0.06	0.02	0.01	10.09	1.99	0.42	0.53
苏氨酸 Thr	0.32	0.05	0.10	0.01	9.22	1.66	2.08	0.53
丝氨酸 Ser	0.07	0.11	0.09	0.05	2.02	3.64	1.88	2.63
谷氨酸 Glu	0.95	0.93	1.41	0.28	27.38	30.79	29.38	14.74
甘氨酸 Gly	0.04	0.06	0.06	0	1.15	1.99	1.25	0
丙氨酸 Ala	0.03	0.04	0.05	0	0.86	1.32	1.04	0
胱氨酸 Cys	0.01	0.02	0.04	0.02	0.29	0.66	0.83	1.05
缬氨酸 Val	0.08	0.05	0.07	0	2.30	1.66	1.46	0
蛋氨酸 Met	0.02	0.05	0.02	0.02	0.58	1.66	0.42	1.05
异亮氨酸 Ile	0.10	0.10	0.15	0.06	2.88	3.31	3.12	3.16
亮氨酸 Leu	0.17	0.28	0.36	0.13	4.90	9.27	7.50	6.84
酪氨酸 Tyr	0.03	0.02	0.08	0.02	0.86	0.66	1.67	1.05
苯丙氨酸 Phe	0.10	0	0.18	0.10	2.88	0	3.75	5.26
赖氨酸 Lys	0.01	0.01	0.02	0	0.29	0.33	0.42	0
组氨酸 His	0.04	0.05	0.05	0.03	1.15	1.66	1.04	1.58
精氨酸 Arg	0.06	0.01	0.22	0	1.73	0.33	4.58	0
脯氨酸 Pro	1.09	1.18	1.88	1.17	31.41	39.07	39.17	61.58
总和 Total	3.47	3.02	4.80	1.90	–	–	–	–
疏水氨基酸[1)]	1.63	1.76	2.77	1.48	46.97	58.28	57.71	77.89
亲水氨基酸[2)]	1.84	1.26	2.03	0.42	53.02	41.72	42.29	22.10
必需氨基酸[3)]	0.80	0.54	0.90	0.32	23.05	17.88	18.75	16.84

3 讨论

蛋白质和氨基酸是植物体内两类重要的含氮化合物,足够的氮供应是蛋白质和氨基酸合成的重要保证。本研究结果表明,不管施钼与否,提高氮肥施用水平能显著提高冬小麦子粒中的蛋白质氮,使子粒蛋白质中氨基酸总量及其各氨基酸组分含量也随氮肥水平提高而提高;面粉蛋白质组分及其氨基酸组成也有一定影响,其中清蛋白和醇溶蛋白含量、蛋白质中谷氨酸和脯氨酸占总量的比例随氮肥水平提高而增加,球蛋白和谷蛋白占总量的比例却随之下降。高施氮量在提高冬小麦蛋白质含量的同时,也会产生一定的负效应。

钼是植物必需的营养元素之一,其在非豆科植物中的生理功能主要是通过硝酸还原酶影响氮代谢。缺钼使冬小麦子粒中非蛋白氮含量增加,而施钼提高子粒中蛋白氮与非蛋白氮的比例,使子粒品质改善[5]。本试验结果表明,不管是高或低施氮量,施用钼肥均能显著提高冬小麦子粒中高分子量蛋白质的含量及其占总量的比例;降低冬小麦面粉中游离氨基酸含量,高氮肥水平下尤其明显。缺钼冬小麦子粒中低分子量或易溶性蛋白质含量及其比例增加,游离氨基酸大量积累,且其中亲水性氨基酸比例明显提高。有报道指出,缺钼土壤上冬小麦种子容易发生收获前萌芽,并认为与缺钼冬小麦子粒硝酸盐积累、ABA 含量低诱发种子低休眠度有关[10]。本试验发现,缺钼冬小麦子粒中易溶性蛋白质组份含量及其比例、游离氨基酸含量及其中亲水性氨基酸比例提高,可能是缺钼冬小麦种子低休眠度和发生收获前萌芽的重要物质基础或者是直接诱因。因此,在提高氮肥水平的同时,配合施用钼肥不仅能改善子粒品质,也是克服种子低休眠度和收获前萌芽的重要措施。

参考文献:

[1] Mulder E G. Molybdenum in relation to growth of higher plants and microorganisms[J]. Plant and Soil,1954,5:368-415.

[2] 陶惟银,陈国平,张全勋,等. 酸性黄棕壤小麦黄化死苗与施钼效应的研究初报[J]. 湖北农业科学,1990,10:14-17.

[3] 王治荣,王运华,闵志忠,等. 钼肥对小麦增产作用的初步研究[J]. 土壤肥料,1991,(3):29-31.

[4] 魏文学,谭启玲,王运华,等. 钼肥对冬小麦产量及其构成因素的影响[J]. 华中农业大学学报(增刊),1995,21:107-113.

[5] 王运华,魏文学,谭启玲,等. 湖北省黄棕壤冬小麦缺钼和施钼研究[J]. 土壤肥料,1995,(3):24-28.

[6] 王运华,魏文学,胡承孝,等. 钼肥对冬小麦的增产效果[J]. 土壤肥料,1997,(3):11.

[7] Буторина Л,等(蔡元定节译). 晚期根外追施尿素和钼对冬小麦子粒产量及其品质的影响[J]. 国外农学—麦类作物,1992,(3):23.

[8] 魏文学,徐驰明,段明元,等. 钼营养与冬小麦子粒蛋白质和氨基酸组成的关系[J]. 华中农业大学学报,1998,17(4):364-368.

[9] 陈毓荃主编. 生物化学研究技术(全国高等农业院校教材)[M]. 北京:中国农业出版社,1995.

[10] Cairns,Kritzinger J H. The effect of molybdenum on seed dormancy in wheat[J]. Plant and Soil,1992,145:295-297.