

钾对大白菜的营养作用及其生理机制研究

倪吾钟 何念祖 林荣新

(浙江农业大学农业化学系, 杭州 310029)

摘要

通过砂培试验和田间试验探讨了钾对大白菜的营养作用及其生理机制。砂培试验结果表明,钾能通过促进大白菜根系的生长、提高根系的脱氢酶活性和叶片的硝酸还原酶活性;增加对氮磷等养分的吸收,改善植株体内的氮磷钾营养状况;提高叶绿素含量,增加气孔导度和蒸腾强度,提高净光合作用速率,增加干物质的积累。田间试验得出,钾能在提高大白菜内源激素(玉米素、生长素和脱落酸)整体水平的同时,调节其平衡。主要表现在玉米素/脱落酸和生长素/脱落酸比值的降低,从而有利于叶球的形成。

关键词 大白菜 钾营养作用 生理机制

大白菜是我国最重要的蔬菜作物之一。已往的研究表明,增施钾肥不仅能显著地提高大白菜的叶球产量、干物质产量和粗蛋白产量,而且能明显地改善叶球的营养价值和风味品质^[1~4]。在施钾水平较高时,硫酸钾对大白菜的增产效应和改善叶球品质的作用均明显优于氯化钾^[2]。但有关钾对大白菜营养作用的机理以及不同钾肥营养作用差异的生理基础等至今尚缺乏系统的报道。本文拟通过田间试验,砂培试验和室内分析等方法,在进一步明确钾对大白菜的营养作用的同时,对其生理机制作一探讨,以期为大白菜合理施用钾肥提供科学依据。

一、材料与方 法

田间试验在杭州市郊龙心农业实验场进行。供试土壤为黄松土,其基本理化性状如下:pH(水)7.2、有机C 18.6g/kg、全N 1.42g/kg、全P 1.13g/kg、全K 14.3g/kg、水解N 149.1mg/kg、有效P 41.7mg/kg和速效K 67.2mg/kg。试验采用含有假伪处理的裂区拉丁方试验设计,主区设置5个钾(K₂O)水平,即:0、60、120、180、240kg/hm²,重复5次,拉丁方排列;副区设置2个水平,即氯化钾和硫酸钾,并在主区内随机排列,副区面积20m²^[5~7]。各处理氮磷用量相等(N 345kg/hm²和P₂O₅ 135kg/hm²)。供试大白菜品种为“鲁白8号”。

砂培试验在本校玻璃顶网室内,采用大容积塑料槽(70cm×65cm×12cm)进行。试验设3个供钾水平,即:0、3、6mmol/L,2个供钾处理再分别设置施硫酸钾和氯化钾2个处理,共5个处理,营养液组成及配方见表1^[8~10],不设重复。试验于1993年4月23日播种,每天补足失水量,隔日调pH至6.5,每周更换营养液一次,4周后取样,进行室内分析测定。

土壤基本理化性状和植株全N、全P、全K含量均按常规方法测定^[11];叶绿素含量用乙醇:丙酮:水(4.5:4.5:1)混合液提取,比色法测定^[12];净光合作用速率、蒸腾作用强度和气孔导度用LCA-2型光合作用测定系统直接同步测定;叶片硝酸还原酶活性用磺胺 α -萘胺比色法测定^[13];根系脱氢酶活性用TTC还原比色法测定^[14];同时用高效液相色谱仪测定球叶中肋的内源激素含量。

表 1 砂培试验营养液配方

Table 1 Ingredients of nutrient solution used in sandy culture experiment

贮备液 Storage solution		营养液配方(贮备液ml/L) Ingredient of nutrient solution				
组成 Component	浓度(mol/L) Concentration	处理 Treatment				
		1	2	3	4	5
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.20	5	5	5	5	5
Ca(NO ₃) ₂	1.15	5	5	5	5	5
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.20	5	5	5	5	5
CaCl ₂	0.25	10	10	10	10	10
Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	0.20	10	10	10	10	10
KCl	0.60	-	5	-	10	-
K ₂ SO ₄	0.30	-	-	5	-	10
EDTA · Fe	1)	2	2	2	2	2
微量元素混合液	2)	2	2	2	2	2

1) 溶解1.34g EDTA钠盐于500mL蒸馏水中,加热至微沸,加入0.99g FeSO₄ · 7H₂O,强烈搅拌。

2) 每升微量元素混合贮备液中含H₃BO₃0.72g, CuCl₂ · 2H₂O 0.02g, MnCl₂ · 4H₂O 0.045g, ZnCl₂ 0.06g, H₂MoO₄ · H₂O 0.01g。

二、结果与讨论

(一)对大白菜幼苗生长的影响

砂培试验结果(表2)表明,钾不仅能提高大白菜幼苗地上部和根系的鲜重,而且能显著地增加大白菜幼苗地上部和根系的干物量。在供钾水平较高(6mmol/L)时,硫酸钾的效果明显优于氯化钾,这与已报道的田间试验结果相似^[2]。试验结果还表明,钾能提高地上部的干物质量,但根系干物质量的变化与地上部有所不同。硫酸钾处理的根系干物质量高于无钾处理(对照),而氯化钾处理则低于对照,这可能是氯化钾处理的根系中Cl⁻积累较高(表3),吸水量增加之故。硫酸钾处理地上部和根系干物质量提高,含水率相对降低,这与其Cl⁻含量的下降有一定的关系。

表 2 钾对大白菜幼苗生长的影响

Table 2 Effect of K supply on growth of chinese cabbage

处理 Treat.	钾浓度 K conc. (mmol/L)	供钾形式 K forms	鲜重 Fresh wt. (g/plant)			干物重 Dry wt. (mg/plant)			干物率 DM rate (%)	
			地上部 Shoot	根 Root	合计 Total	地上部 Shoot	根 Root	合计 Total	地上部 Shoot	根 Root
1	0	-	1.135	0.171	1.306	84.3	11.6	95.9	7.43	6.76
2	3	MOP	1.923	0.298	2.221	152.1	19.9	172.0	7.91	6.68
3	3	SOP	1.708	0.244	1.952	144.5	17.2	161.7	8.46	7.04
4	6	MOP	2.340	0.383	2.723	186.0	23.6	209.6	7.95	6.17
5	6	SOP	2.409	0.444	3.853	259.1	31.3	290.4	7.60	7.05

(二)对大白菜幼苗营养状况的影响

分析测定结果(表3)表明,各供钾处理的大白菜幼苗地上部和根系的含钾量均显著高于对

照,地上部的含氮量和含磷量及根系的含氮量也均高于对照;但供钾处理根系的含磷量则低于对照,这可能与干物质量增加所引起的稀释效应及钾促进磷由根系向地上部的转运有关。

表 3 不同处理大白菜幼苗的N、P、K、Cl含量
Table 3 Contents of total N, P, K, Cl in seedlings
of chinese cabbage with different treatment

处理 Treat.	含氮量(mg/kg) N cont.		含磷量(mg/kg) P cont.		含钾量(mg/kg) K cont.		含氯量(mg/kg) Cl cont.	
	地上部 Shoot	根 Root	地上部 Shoot	根 Root	地上部 Shoot	根 Root	地上部 Shoot	根 Root
	1	21.4	11.4	4.74	8.19	5.2	3.9	2.56
2	32.6	15.8	5.31	7.19	19.8	17.6	3.63	3.73
3	33.8	15.4	5.64	6.82	20.2	18.8	2.36	2.93
4	34.2	14.1	7.02	7.56	17.6	19.1	3.80	4.44
5	32.4	14.3	5.37	7.23	21.7	17.0	2.03	2.38

表 4 不同处理大白菜幼苗的N、P、K吸收量
Table 4 Amounts of N, P, K absorbed by seedlings of
chinese cabbage with different treatment

处理 Treat.	吸氮量(mg/kg) N absor.		吸磷量(mg/kg) P absor.		吸钾量(mg/kg) K absor.	
	地上部 Shoot	根 Root	地上部 Shoot	根 Root	地上部 Shoot	根 Root
	1	1.80	0.13	0.40	0.10	0.44
2	4.96	0.31	0.81	0.14	3.01	0.35
3	4.88	0.26	0.81	0.12	2.92	0.32
4	6.36	0.33	1.31	0.18	3.27	0.45
5	8.39	0.45	1.39	0.23	5.62	0.53

表4表明,大白菜幼苗地上部和根系的吸钾量均随供钾水平的提高而增加,地上部和根系的吸氮量和吸磷量亦然,表明钾能促进大白菜幼苗对氮和磷的吸收利用。从表4还可以看出,在供钾水平较低(3mmol/L)时,氯化钾和硫酸钾的效果没有明显的差异;但供钾水平较高(6mmol/L)时,以硫酸钾促进氮磷吸收的作用更为明显。

(三)对大白菜的生理效应

1. 钾对功能叶叶绿素含量、气孔导度、蒸腾强度、净光合作用速率和蒸腾效率的影响 砂培试验结果(表5)表明,随着供钾水平的提高,大白菜幼苗功能叶的叶绿素含量、气孔导度、蒸腾强度、净光合作用速率和蒸腾效率均有明显的提高,这也是钾促进大白菜干物质积累的生理基础。进一步的统计分析结果表明,净光合作用速率与叶绿素含量和气孔导度呈显著或极显著正相关,相关系数分别为:0.924*和0.982**。表5还表明,在供钾水平较低(3mmol/L)时,氯化钾和硫酸钾的生理效应无明显的差异;但供钾水平较高(6mmol/L)时,硫酸钾的生理效应明显优于氯化钾,从而使硫酸钾处理的植株干物量明显高于氯化钾处理(表2)。

2. 钾对根系脱氢酶活性的影响 根系是植物主要的吸收器官,钾不仅能显著地促进大白菜根系的生长,而且能大大地提高根系的脱氢酶活性(表6),增强根系活力,增加根系对养分的吸收,尤其是对氮磷的吸收(表4),从整体上改善大白菜幼苗体内的营养状况(表3)。

表 5 钾对大白菜功能叶叶绿素含量、气孔导度、蒸腾强度、净光合作用速率和蒸腾效率的影响

Table 5 Influence of K on content of chlorophyll(Chl.), stomatal conductance(CS), transpiration intensity (Tr), rate of net photosynthesis(Pn) and transpiration efficiency(Pn/Tr) in functional leaf of chinese cabbage

处理 Treat.	叶绿素含量 Chl. content (mg/g, FW)	气孔导度 Stomatal conductance (H ₂ O, mmol/(m ² · s))	蒸腾强度 Transpiration intensity (H ₂ O, mmol/(m ² · s))	净光合作用速率 Rate of net photosynthesis (CO ₂ , μ mol/(m ² · s))	蒸腾效率 Transpiration efficiency (CO ₂ /H ₂ O, μ mol/mmol)
1	0.429	374.8	5.99	6.09	1.02
2	0.653	623.5	7.32	10.39	1.42
3	0.523	574.5	6.77	9.32	1.38
4	0.642	771.0	7.44	11.32	1.52
5	0.809	772.8	6.94	12.11	1.74

表 6 钾对叶片硝酸还原酶活性和根系脱氢酶活性的影响

Table 6 Activities of nitrate reductase in leaves and dehydrogenase in roots as affected by K supply

处理 Treat.	叶片硝酸还原酶活性 Nitrate reductase in leaves(FW) (NO ₂ ⁻ , μ mol/(g.h))	根系脱氢酶活性 Dehydrogenase in root (FW) (TPF, μ g/(g.h))
1	0.083	44.3
2	0.187	76.1
3	0.163	71.2
4	0.204	80.1
5	0.220	268.5

3. 钾对功能叶硝酸还原酶活性的影响 大白菜与其它旱生作物相似,根系对氮的吸收以NO₃⁻为主要形式,NO₃⁻进入植株体内后,必须先经还原,然后才能被同化利用;而叶片是NO₃⁻还原的主要器官。砂培试验取样测定大白菜幼苗功能叶的硝酸还原酶活性结果(表6)表明,钾能显著地提高功能叶的硝酸还原酶活性,促进对NO₃⁻的还原,有利于对氮的进一步同化和利用,增加对氮的吸收(表4)。

4. 对内源激素水平的影响 大白菜的结球实际上是由营养生长向生殖生长转化的过程。Kato曾报道^[15],生长素、细胞分裂素及乙烯能引起大白菜球叶叶柄(实际上中肋)的偏上生长,而赤霉素和脱落酸则能促进叶柄的偏下生长,从而认为大白菜叶球的形成与体内的激素平衡有关。测定结果(表7)表明,随着钾肥用量的增加,大白菜球叶中肋的玉米素和脱落酸含量均有明显的提高,但两者之比却呈现下降的趋势;生长素含量在施钾水平较低时,随施钾量的增加而提高,而当施钾(K₂O)水平高于180kg/hm²时,则呈下降的趋势,生长素与脱落酸之比也随施钾量的增加而降低。统计分析表明,叶球产量^[2]与玉米素和脱落酸含量均呈极显著正相关,相关系数分别为0.981 * *和0.959 * *;而与玉米素/脱落酸和生长素/脱落酸的比值呈极显著负相关,相关系数分别为-0.837 * *和-0.813 * *。上述结果表明,钾能在提高大白菜内源激素整体水平的基础上调节其相互之间的平衡,促进叶球的形成。从表7还可看出,硫酸钾在提高玉米素和脱落酸含量,及降低玉米素/脱落酸和生长素/脱落酸的比值等生理效应方面较氯化钾更为明显,这可能也是硫酸钾对大白菜的增产作用显著高于氯化钾的生理机制之一。

表 7 钾肥对球叶中肋玉米素、生长素和脱落酸含量的影响

Table 7 Contents of zeatin (ZT), indole acetic acid (IAA) and abscisic acid (ABA) in vein of head leaves as affected by K application

施K ₂ O量 K ₂ O rate (kg/hm ²)	钾肥种类 Forms of K	玉米素含量 Cont. of ZT (ng/g,FW)	生长素含量 Cont. of IAA (ng/g,FW)	脱落酸含量 Cont. of ABA (ng/g,FW)	ZT/ABA	IAA/ABA
0	MOP	625	147.5	214.7	2.91	0.69
	SOP	610	140.5	196.4	3.11	0.71
60	MOP	993	237.4	345.4	2.87	0.69
	SOP	904	211.2	321.9	2.81	0.66
120	MOP	1002	242.8	356.2	2.81	0.68
	SOP	1160	258.5	418.1	2.77	0.62
180	MOP	1252	201.1	439.3	2.85	0.46
	SOP	1364	210.7	504.5	2.70	0.42
240	MOP	1383	161.9	505.7	2.73	0.32
	SOP	1584	175.4	684.8	2.31	0.26

参 考 文 献

- 1 何天秀和何成辉, 1995. 北方土壤钾素肥力及其管理(谢建昌等编译). 中国农业科技出版社, 242~246.
- 2 倪吾钟, 何念祖等, 1996. 钾肥对大白菜产量形成和叶球品质的影响. 植物营养与肥料学报, 2: 162~168.
- 3 黄德明, 何平安等, 1995. 北方土壤钾素肥力及其管理(谢建昌等编译). 中国农业科技出版社, 113~116.
- 4 蒋式洪, 1989. 喷施无机营养对大白菜产量和品质的影响. 浙江农业科学, 第4期, 170~173.
- 5 山东农业大学主编, 1987. 蔬菜栽培学各论(北方本, 第二版). 农业出版社.
- 6 陶勤南编著, 农业试验设计与统计方法一百例. 陕西科学技术出版社.
- 7 Robert D M, 1985. Potassium in Agriculture. Published by ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA. 915~928.
- 8 刘芷宇等编著, 1982. 主要作物营养失调症状图谱. 人民教育出版社.
- 9 Davies G J et al., 1990. Selection of balancing ions for nutritional studies in nutrient culture experiments. Plant and Soil, 124: 87~90.
- 10 Islam A K M S et al., 1987. Response of plants to calcium concentration in flowing solution culture with chloride or sulphate as the counter-ion. Plant and Soil, 98: 377~395.
- 11 中国土壤学会农业化学专业委员会编, 1983. 土壤农业化学常规分析方法. 科学出版社.
- 12 陈福明和陈顺伟, 1984. 混合液法测定叶绿素含量的研究. 林业科技通讯, 2: 4~8.
- 13 华东师范大学主编, 1980. 植物生理学实验指导. 人民教育出版社.
- 14 浙江农业大学主编, 1980. 农业化学实验. 上海科学技术出版社.
- 15 Kato, T., 1981. Proceedings of the First International Symposium on Chinese Cabbage. AVRDC Publication No. 81~133. 207~215.

STUDY ON K-NUTRITION OF CHINESE CABBAGE AND ITS PHYSIOLOGICAL MECHANISM

Ni Wuzhong He Nianzu Lin Rongxin

(Dept. of Agrochemistry, Zhejiang Agric. Univ., Hangzhou 310029)

Summary

This paper deals with the K-nutrition for chinese cabbage and its physiological mechanism. The results from sandy culture experiment indicated that K supply can enhance both the contents and the amounts of N, P in chinese cabbage by promoting root growth, activity of dehydrogenase in root and activity of nitrate reductaes in leaf, and increasing dry matter production by enhancing Chl. content and promoting stomatal conductance (CS), transpiration rate (TR), net photosynthesis rate (PN) as well as transpiration efficiency. And from the field experiment, it can be obtained that K fertilization increase the levels of endogenous phytohormones in chinese cabbage as well as regulate their balance as decreasing the ratios of ZT/ABA and IAA/ABA, which is functional for head production.

The experimental results also indicated that potash sulphate affects on these physiological mechanisms more efficiently than potash chloride does, which is the reason why chinese cabbage can yield more with potash sulphate applied at the adequately-high rates of K fertilization.

Key words Chinese cabbge(*B. Campestris* L.) K-nutrition Physiological mechanism