

# 钾素营养对高寒区白萝卜养分吸收及产量的影响

赵光辉<sup>1</sup>, 张立峰<sup>1,2</sup>, 左启华<sup>1,2</sup>, 王新路<sup>1</sup>, 窦铁岭<sup>1,2</sup>, 边秀举<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学 农学院, 河北 保定 071001; 2 农业部张北农业资源与生态环境重点野外观测试验站, 河北 张家口 076450)

**摘要:** 在冀西北高寒区草甸栗钙土农田, 以白萝卜‘春雪圣’品种为材料, 研究了钾肥不同施用量对白萝卜养分吸收及产量形成的影响。结果表明: 以肉质根为核心的白萝卜鲜重增长呈现典型的 Logistic 曲线特征, 而其干重则表现近线性增长。在施钾 0~225 kg/hm<sup>2</sup> 范围内, 钾肥对白萝卜的增产效应不明显, 相应对植株生长与光合色素等指标的影响亦不显著。自肉质根膨大期后白萝卜生物量快速积累, 不同施钾量下株体特别是根部的钾素含量表现稳定的浓度特征。白萝卜在冀西北高寒区表现出极好的生态适应性与钾素利用的经济性。

**关键词:** 白萝卜; 钾素; 吸收动态; 生物产量

中图分类号: S 631.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-0009(2010)14-0005-04

冀西北高寒区涵盖张家口的张北、沽源、尚义、康保、承德的围场、丰宁的坝上部分。该地区 5~9 月份日最高温 20.5~26.7℃, 最低温为 5.8~15.9℃, 日较差 10.8~14.7℃, 日照时数可达 8 h 以上, 光照充足, 温光条件适宜白萝卜生长发育。自 20 世纪 90 年代末白萝卜抗抽薹品种的引进与防抽薹技术的突破使冀西北高寒区蔬菜面积迅速发展, 成为我国北方蔬菜强劲的增长, 并表现出极好的生态适应性<sup>[1-3]</sup>。

作物产量与品质效应是农田施肥的主要依据。钾肥在增强作物对低温、干旱等逆境的抵抗力<sup>[4]</sup>以及在根茎类作物上良好的增产效应<sup>[5]</sup>, 成为冀西北高寒区新兴喜凉蔬菜基地白萝卜施肥的重要考虑<sup>[1-2,6]</sup>。然而, 地域性土壤、气候环境与栽培管理等会直接影响肥料效果<sup>[7-10]</sup>。该试验旨在探索冀西北高寒区白萝卜生产的土壤供钾性能、施钾对白萝卜养分吸收及产量的影响, 以期为高产高效栽培技术创新提供理论支持。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 试验材料

田间试验于 2009 年 6~10 月在河北省张家口市的农业部张北农业资源与生态环境重点野外科学观测试验站进行。试验区为冀西北高原高寒区, 海拔 1 300~1 400 m, 年均温 3.6℃。供试白萝卜为当地主栽品种

第一作者简介: 赵光辉(1984), 男, 河北沧州人, 在读硕士, 现主要从事植物营养研究。E-mail: zhgh0302@163.com.

通讯作者: 边秀举(1963), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为农牧系统耦合和植物营养研究。E-mail: bianxj@hebau.edu.cn.

基金项目: 中加合作 IPNI 资助项目; 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD15B05); 河北省“十一五”科技支撑计划资助项目(06220901D)。

收稿日期: 2010-03-25

‘春雪圣’。试验用肥料为尿素(N 46%), 重过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45%), 氯化钾(K<sub>2</sub>O 48%)。试验地为具有代表性的草甸栗钙土, 基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤的理化性状

Table 1 Physical and chemical characteristics of experiment soil

土层深度 Soil depth /cm	有机质 Organic matter /g·kg <sup>-1</sup>	全 N Total nitrogen /g·kg <sup>-1</sup>	速效 N Available nitrogen /mg·kg <sup>-1</sup>	速效 P Available phosphorus /mg·kg <sup>-1</sup>	速效 K Available potassium /mg·kg <sup>-1</sup>	pH 值
0~20	26.6	1.04	110.3	9.6	115	7.5

### 1.2 试验设计

试验设空白处理 CK 及钾肥用量 K<sub>2</sub>O 0、150、225 kg/hm<sup>2</sup> 等 4 个处理(分别用 CK、K<sub>0</sub>、K<sub>150</sub>、K<sub>225</sub> 表示)。试验地不施有机肥, 除空白处理 CK 外各试验区以 N 150 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 kg/hm<sup>2</sup> 作肥底; 磷肥作底肥 1 次性施用, 2/5 的氮肥和 2/5 的钾肥底施, 出苗后 30 d 的 8 月 1 日追施剩余氮钾肥料。白萝卜于 6 月 26 日起垄播种, 行距 40 cm, 株距 15 cm, 正常田间管理, 10 月 3 日收获。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株性状的测定 每 10 d 选定各处理区代表性白萝卜 5 株, 分为地上部叶和地下部肉质根制样, 测定各生长指标; 之后将样品在 105℃ 下杀青 30 min, 于 80℃ 下烘干至恒重; 称重后粉碎供养分分析测定。

1.3.2 植株养分的测定 植物样品的钾素含量测定采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮-火焰光度法测定<sup>[11]</sup>。

1.3.3 光合色素的测定 叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量采用分光光度法测定<sup>[12]</sup>。

### 1.4 数据处理

数据资料采用 Excel 2003 和 DPS v3.01 数据分析系统处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 施钾对高寒区白萝卜产量及其生长动态的影响

在冀西北高寒区气候与土壤条件下,与对照相比施钾有促进白萝卜增产趋势(表2)。表2结果表明,白萝卜产量与钾肥施用量呈抛物线关系,在钾肥施用量 150 kg/hm<sup>2</sup> 时,白萝卜生物产量与经济产量达最大值,分别

为 157 111、141 405 kg/hm<sup>2</sup>,较 K0 提高 8%和 6%,较 CK 提高 23%和 15%。钾肥对白萝卜的增产效应生物产量大于经济产量。结果表明,K0、K150 和 K225 这三个施钾量间的产量效果统计学上差异不显著;单位面积经济效益 53 215~56 562 元/hm<sup>2</sup>,为区域传统粮食作物春小麦的 8~10 倍<sup>[3]</sup>。

表 2 不同钾肥处理的白萝卜产量效应

Table 2 Effects of potassium application on biomass of radish

处理 Treatment	生物产量(鲜重) Biological yield FW			经济产量(鲜重) Economic yield FW			净收益 Net income/元·hm <sup>-2</sup>
	产量 Yield / kg·hm <sup>-2</sup>	增产 Increase yield/ %	增产 Increase yield/ %	产量 Yield / kg·hm <sup>-2</sup>	增产 Increase yield/ %	增产 Increase yield/ %	
CK	127 308 B	—	—	122 519 b	—	—	49 008
K0	145 358 AB	14	—	133 037 a	9	—	53 215
K150	157 111 A	23	8	141 405 a	15	6	56 562
K225	148 562 AB	17	2	133 942 a	9	1	53 577

注:不同小写字母间表示差异显著(P<0.05),大写字母间表示差异极显著(P<0.01),下同。

Note: Different small capital letters mean diversity significant at P<0.05 level. Different capital letters mean infinite significant diversity at P<0.01 level. The same symbol is used for other tables.

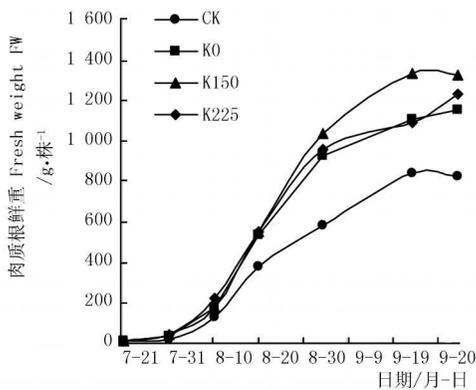


图 1 不同钾肥处理白萝卜肉质根鲜重生长动态

Fig.1 Growth dynamics of fresh weight on radish root by different K levels

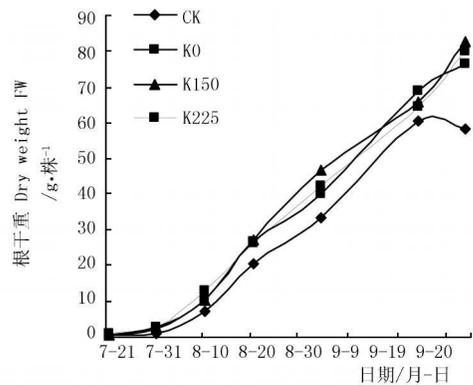


图 2 不同钾肥处理白萝卜肉质根干重生长动态

Fig.2 Growth dynamics of dry weight on radish root by different K levels

表 3 不同钾肥处理的白萝卜生长分析

Table 3 Analysis on radish growth by different K levels

项目 Treatment	处理 Treatment	产量 Yield / kg·hm <sup>-2</sup>	Logistic 方程 Logistic equation	r	V <sub>max</sub> 出现天数 Days/d	V <sub>max</sub> / kg·hm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	线性增长期 Linear growth period/d
肉质根鲜重 Fresh weight FW	CK	122 519	y=752.4/(1+1 503.1e <sup>-0.1294x</sup> )	0.9846	58.4	25.4	17.1
	K0	133 037	y=1 134.3/(1+2 210.5e <sup>-0.1358x</sup> )	0.9922	59.4	35.6	18.4
	K150	141 405	y=1 337.5/(1+1 980.1e <sup>-0.1295x</sup> )	0.9805	59.5	42.8	18.0
	K225	133 942	y=1 167.7/(1+1 305.7e <sup>-0.1269x</sup> )	0.9745	61.2	31.4	21.5
肉质根干重 Dry weight DW	CK	8 719	y=63.4/(1+501.4e <sup>-0.0946x</sup> )	0.9760	67.8	1.5	23.8
	K0	8 834	y=83.0/(1+218.5e <sup>-0.0789x</sup> )	0.9838	70.3	1.8	27.1
	K150	8 838	y=83.9/(1+220.4e <sup>-0.0808x</sup> )	0.9789	66.7	2.0	24.2
	K225	8 760	y=87.8/(1+132.9e <sup>-0.0695x</sup> )	0.9785	71.7	1.7	29.5

不同钾肥处理的白萝卜生长动态如图 1、2。试验表明,无肥区白萝卜肉质根表现出增长的滞后,不同钾肥处理之间白萝卜增长动态一致。各钾肥处理白萝卜自播后 35 d,肉质根鲜重、干重进入快速增长期(表 3)。由表 3 可知,肉质根鲜重自播后 70 d 由于老龄叶片脱落与生长中心的转移而增速放缓,至 100 d 的收获期鲜重达最高,为 1 156~1 323 g/株;肉质根干重累积量随生育期

推进表现近线性增长特性,其快速增长期持续达 23.8~29.5 d。在坝上高寒区,白萝卜肉质根持续累积干物质特性成为其高产量与高品质的生物学基础。

### 2.2 施钾对白萝卜植株生长与生理指标的影响

从表 4 看出,随着钾肥施用量的增加,白萝卜的最大叶宽、肉质根长和肉质根粗均表现增加趋势,这成为白萝卜增产的生物学基础。同 CK 相比, K0、K150 和

K225 各个生长指标差异显著。K0、K150 和 K225 的最大叶长在 37.6~41.8 cm, 差异不显著。K0 和 K225 最大叶宽和肉质根粗差异不显著, 但与 K150 相比差异显著。由表 4 可知, 不同钾肥处理间, 叶绿素 a、叶绿素 b

和类胡萝卜素等光合色素含量差异不显著, 但与 K0 相比差异显著。结果表明, 施肥后生长指标的提高促进了白萝卜营养生长和生物量积累, 过量施肥有些指标反而降低导致肥料无效。

表 4 白萝卜生长与生理指标

Table 4 The index of physiology and growth in radish

处理 Treatment	最大叶长 Maximal length of leaf/cm	最大叶宽 Maximal width of leaf/cm	根长 Length of root/cm	根粗 Diameter of root/mm	叶绿素 a Chlorophyll a /mg ° kg <sup>-1</sup>	叶绿素 b Chlorophyll b /mg ° kg <sup>-1</sup>	类胡萝卜素 Carotenoid /mg ° kg <sup>-1</sup>
CK	27.0 b	7.6 c	33.0 c	63.1 c	4.962 b	2.285 b	2.618 b
K0	39.0 a	9.4 b	37.2 b	72.2 b	6.127 ab	3.646 ab	3.380 a
K150	41.8 a	11.6 a	39.8 a	75.8 a	6.197 ab	3.958 a	3.320 a
K225	37.6 a	9.8 b	39.6 a	72.3 b	6.879 a	4.162 a	3.369 a

表 5 不同钾肥处理白萝卜不同时期钾素养分含量

Table 5 The content of nutrients with radish in different stages as affected by different K levels

%/干重

器官 Organ	处理 Treatment	取样时间 Sampling time						
		7-21	7-31	8-10	8-20	9-3	9-23	10-3
叶片 Leaf	CK	1.608	1.440	1.097	1.908	2.020	1.732	1.602
	K0	1.277	1.578	1.310	1.742	1.480	1.577	1.498
	K150	1.285	1.550	1.253	1.760	1.755	1.362	1.607
	K225	1.923	1.570	1.430	1.682	1.790	1.482	1.553
肉质根 Fleshy root	CK	3.913	3.290	2.823	2.520	2.410	2.110	2.503
	K0	3.743	2.937	2.637	2.103	2.020	2.070	2.103
	K150	3.837	2.980	2.707	2.203	2.327	2.480	2.473
	K225	3.987	3.467	2.940	2.293	2.347	2.473	2.460
株体 Plant	CK	2.846	1.745	1.812	2.285	2.320	2.060	2.406
	K0	2.378	1.877	1.775	1.945	1.810	1.956	1.988
	K150	2.720	1.883	1.774	2.009	2.116	2.171	2.289
	K225	3.132	2.012	2.035	2.014	2.145	2.180	2.267

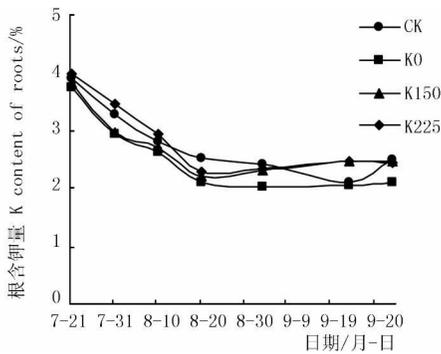


图 3 不同钾肥处理白萝卜根含钾量动态分析

Fig.3 K content dynamics of radish roots by different K levels

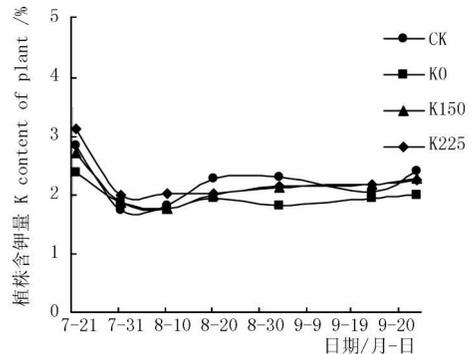


图 4 不同钾肥处理白萝卜植株含钾量动态分析

Fig.4 K content dynamics of radish plant by different K levels

### 2.3 施钾对白萝卜钾素吸收动态的影响

不同施钾水平下白萝卜叶片、肉质根与株体含钾量动态变化如表 5、图 3、4 所示。图 3 表明, 进入白萝卜肉质根膨大前期(7月31日~8月20日), 随着根干重的迅速增加根部含钾量持续降低, 不同施钾处理平均由 3.168% 降到 2.280%, 降幅达 28.05%; 在此之后一直持续到收获(8月20日~10月3日), 根部含钾量稳定在 2.276%~2.385% 间。受萝卜肉质根干重比例影响, 白萝卜株体含钾量自肉质根膨大期(7月31日)始, 一直维持 1.849%~2.238% 水平。统计表明, 自 8月20日之后,

不同处理之间白萝卜肉质根及株体的时序含钾量差异不显著( $F_{肉质根} = 0.646, P > 0.05; F_{株体} = 2.611, P > 0.05$ ), 由此, 期间白萝卜钾素的时序累积吸收量成为其生物量累积速率的线性函数。

### 3 结论与讨论

试验研究表明, 在冀西北高寒区白萝卜表现出极好的生态适应性, 以肉质根为核心的鲜重呈现典型的 Logistic 生长曲线特征, 而其干重则表现近线性增长。肉质根增重的这一特性, 对利用白萝卜开发冀西北高寒区冷凉气候资源的作物生产潜力、提高营养品质以及增加

食物的有效供给<sup>[1,9]</sup>具有重要的意义;而相应适期早播或晚收的技术创新,成为延长生育期、发挥白萝卜无限生长习性与干物质持续积累优势的重要方面<sup>[7,14]</sup>。

钾素营养被认为在植物抵御寒旱逆境、促进根茎类作物增产中具有重要的作用<sup>[4,5]</sup>。该试验表明,在冀西北高寒区气候与草甸栗钙土壤条件下,施钾 0~225 kg/hm<sup>2</sup> 范围内对白萝卜的增产效应不明显;植株生长指标与光合色素等生理指标的跟踪监测同样证明肥效不显著。研究表明,自肉质根膨大期后白萝卜生物量快速积累,而不同施钾量下株体特别是根部的钾素吸收表现稳定的浓度特征。没有出现大白菜<sup>[15]</sup>、饲用玉米<sup>[16]</sup>以及南瓜<sup>[17]</sup>等作物随施钾量提高而株体高额积累钾素的“奢侈吸收”现象<sup>[18,20]</sup>。这也可能是高寒区白萝卜肥肥效不显著的生物学原因之一。

肥料产量效应决定着农田施肥实践。冀西北高寒区白萝卜钾肥效应的不明显,导致农民只施用氮磷化肥、少施或不施钾肥的状况,这一低本高效的萝卜生产无疑为区域菜农的原始资本积累提供了良好的条件;然而,年高达 217~249 kg/hm<sup>2</sup> 的土壤钾素耗损,终将成为蔬菜持续生产的资源负担。适时补偿土壤钾素亏损是为农田施肥的重要考虑。

#### 参考文献

- [1] 张立峰.论华北农牧交错带生态与经济建设的策略与途径[J].应用生态学报,2003,14(11):2054-2056.
- [2] 张俊花.冀西北坝上高寒区萝卜和甘蓝地膜覆盖节水生产研究[D].保定:河北农业大学,2006.
- [3] 黄伟,张俊花,杨福存,等.钾营养对日光温室小南瓜产量和贮藏特性的影响[J].中国土壤与肥料,2006(4):43-45.
- [4] 魏永胜,梁宗锁.钾与提高作物抗旱性的关系[J].植物生理学通讯,

2001,37(6):676-580.

- [5] 孙守钧,李凤山,王云,等.锌和钾对甜菜生长中后期干物质积累的影响[J].中国甜菜,1994(4):26-29.
- [6] 杜雄.华北农牧交错区农业资源适度开发农牧业可持续发展研究[D].保定:河北农业大学,2008.
- [7] 张宁.播期与收获期对夏玉米生长发育及产量影响的研究[D].保定:河北农业大学,2009.
- [8] 高慧,孙春香.不同钾水平对番茄幼苗生长的影响[J].长江蔬菜,2007(8):54-55.
- [9] 张淑霞,吴旭银.心里美萝卜生长动态及养分吸收规律[J].中国蔬菜,1998(4):13-16.
- [10] 续勇波,郑毅,刘宏斌,等.心里美萝卜生长动态和氮磷钾营养吸收特性[J].云南农业大学学报,2004,19(5):575-579,598.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:265-267.
- [12] 白宝璋,靳占忠,李存东.植物生理学(下:实验教程)[M].北京:中国农业科技出版社,2004:25-26.
- [13] 王立秋.冀西北春小麦高产优质高效栽培研究—氮磷肥对春小麦产量和品质的影响及效益分析[J].干旱地区农业研究,1994,12(3):8-13.
- [14] 李月华,侯大山,刘强,等.收获期对夏玉米千粒重及产量的影响[J].河北农业科学,2008,12(7):1-3,6.
- [15] 姚宇卿,雷全奎,郭建秋,等.大白菜施钾及氮钾配施效果[J].土壤肥料,2000(2):37-43.
- [16] 杜雄,张立峰,李会彬,等.钾素营养对饲用玉米养分吸收动态及产量品质形成的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(3):393-397.
- [17] 黄伟,张俊花,李文杰,等.钾营养对地膜覆盖小南瓜产量和贮藏特性的影响[J].西北农业学报,2009,18(5):262-265.
- [18] 杜雄,边秀举,刘梦星,等.磷素营养对青饲玉米产量品质形成与肥水利用效果的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(3):484-489.
- [19] 李法云,尚德隆,傅宝荣.植物对养分的奢侈吸收及其应用前景[J].食品研究与开发,1999,20(2):45-47.
- [20] 吴金桂,宁运旺,刘文龙,等.利用蔬菜奢侈吸收锌提高其营养价值的研究[J].江苏农业学报,1995,11(1):49-53.

## Effect of Potassium on Biomass and Nutrient Absorption of Radish in the Northwest Plateau of Hebei Province

ZHAO Guang-hui<sup>1</sup>, ZHANG Li-feng<sup>1,2</sup>, ZUO Qi-hua<sup>1,2</sup>, WANG Xin-lu<sup>1</sup>, DOU Tie-ling<sup>1,2</sup>, BIAN Xiur-ju<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001; 2. Zhangbei Agricultural Resource and Ecological Environment Key Field Research Station, Ministry of Agriculture, Zhangjiakou, Hebei 076450)

**Abstract:** The effects of potassium application on nutrient absorption dynamics and biomass of radish named ‘Chunxuesheng’ were studied in meadow-chestnut soil of northwest plateau of Hebei province. The results showed that the core of root fresh weight of radish growth showed typical features of logistics curve, while almost a linear increase in dry weight. Potassium fertilizer can not significantly increase the radish biomass by 0~225% kg/hm<sup>2</sup>; the effect of corresponding index of plant growth and photosynthetic pigments and others was not significant. Since the fleshy root enlargement period biomass accumulated rapidly, different amount of potassium, especially potassium content in the roots of the performance showed characteristics of a stable concentration. Radish in the alpine zone in northwestern Hebei Province showed excellent ecological adaptability and potassium utilization economy.

**Key words:** radish; potassium; absorption dynamics; biomass