植物营养与肥料学报 2013,19(1):191-199
Plant Nutrition and Fertilizer Science doi: 10.11674/zwyf.2013.0123

冀西北坝上地区不同萝卜品种的养分吸收特性比较

张 阔,孙志梅*,刘建涛,司焕森,马文奇
(河北农业大学资源与环境科学学院,河北保定 071001)

摘要: 在冀西北坝上冷凉气候条件下,采用田间小区试验,比较了春冠、春冠35、春光、春辉、春雪圣和春蕾6个萝卜品种对氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)养分的吸收利用特性。结果表明,春冠35与春辉的肉质根产量最高,春雪圣最低。不同萝卜品种各养分的累积分配特征及养分利用效应亦存在显著差异,春蕾的氮累积量最高,春冠35的磷累积量最高,春辉钾累积量最高,上述三品种的另外两种营养元素累积量亦显著高于其他三个品种,且各养分偏生产力表现突出;春光和春雪圣氮累积量最低,春冠的磷、钾累积量最低。养分生产效率和干物质生产效率以春光和春冠两个品种较高。综合评价可知,春辉、春冠35和春蕾为养分高效累积型品种,春雪圣为养分吸收利用低效率品种,而春光和春冠则属于养分生理利用高效率品种。

关键词: 冀西北;萝卜;品种;生物量;养分
中图分类号: S631.1.601 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)01-0191-09

Comparative studies on nutrient absorption characteristics of different radish varieties in the northwest area of Hebei province

ZHANG Kuo, SUN Zhi-mei*, LIU Jian-tao, SI Huan-sen, MA Wen-qi
(*College of Resources and Environmental Science, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China*)

Abstract: A field experiment was conducted to study the nutrients absorption characteristics of six radish varieties in the northwest area of Hebei province. The results indicate that the root yields of the varieties, Chun Guan 35 and Chun hui are the highest, and the yield of Chun xue-sheng is the lowest. There are significant differences among the N, P and K accumulations and distributions in different radish varieties, the varieties of Chun lei, Chun guan35 and Chun hui have the largest accumulations of N, P_2O_5 and K_2O, respectively, and the accumulations of the other two nutrients and as well as the PFP are also higher than those of the other three varieties; The N accumulations of Chun guang and Chun xue-sheng are the lowest and the accumulations of P_2O_5 and K_2O of Chun guan are the lowest. The varieties of Chun guang and Chun guan have higher production efficiency of nutrients and dry matter. In conclusion, Chun hui, Chun guan 35 and Chun lei have high nutrients use efficiencies, while Chun xue-sheng has low nutrients use efficiencies, and Chun guang and Chun guan have higher physiological use efficiencies of the nutrients.

Key words: northwest area of Hebei province; radish; variety; biomass; nutrient

萝卜是以直根膨大形成的肉质根为食用器官的根菜类喜凉蔬菜,在我国的蔬菜生产和消费中占有重要地位。我国萝卜种质资源丰富,目前仍不断有生长性状及品质优良的新品种问世[1-2]。前人关于萝卜生长发育性状[3]、品质性状[4-6]及需肥特性[7-11]等方面的研究较多,但由于品种、生态条件

收稿日期: 2012-01-15 **接受日期:** 2012-10-07
基金项目: 农业部公益性行业科研专项(201103003)资助。
作者简介: 张阔(1985—),女,河北省辛集市人,硕士研究生,主要从事植物营养与施肥研究。E-mail: zhangkhe007@126.com
*通信作者 Tel: 0312-7528233, E-mail: sunzhm2002@yahoo.com.cn

和栽培技术措施等方面的差异,得出的结论也不尽相同,特别是养分需求方面。因此,不同生态条件下,不同萝卜品种的养分需求特性尚待进一步研究。

冀西北坝上地区为高寒半干旱区,其独特的气候和土壤条件,使得喜凉蔬菜的错季种植有了得天独厚的发展空间。萝卜是当地的主栽蔬菜品种之一,皮薄肉脆,味甜多汁,营养丰富是其主要特点,近年来错季的优势使其市场前景日益广阔,种植规模也逐渐扩大。但目前,对当地特殊环境条件下主栽萝卜品种的养分需求特性方面研究鲜见报道,合理施肥缺乏科学参数,种植多按传统经验进行,盲目施肥现象严重,在一定程度上限制了当地萝卜产业的可持续健康发展。为此,本文选取了6个适宜于当地冷凉气候条件的萝卜品种,对其养分吸收、利用及分配特性进行了比较分析,旨在明确不同萝卜品种的养分需求特性,为萝卜科学施肥提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在河北省张家口市尚义县大青沟镇佳禾蔬菜生产基地进行。该区位于河北省西北部,海拔高度1400～1500 m,属于寒温带大陆性季风气候,平均气温3.78℃,无霜期95～110天,蔬菜生长季为5～9月份。蔬菜生长季月平均气温为12.1～19.4℃,特别是6～8月平均气温17.3～19.4℃,月均最高气温24.9℃,月均最低气温11.0℃,土壤5 cm地温月平均15.2～23.0℃,此温度恰好符合喜凉蔬菜对温度的要求。坝上地区光照充足,光能资源丰富,为全省之冠,5～9月份总日照时数1276.0 h,每天日照时数平均8 h以上,特别是盛夏秋初,连阴雨天很少,特别有利于蔬菜光合作用的进行。坝上属于半干旱地区,年降水量390.7 mm,5～9月降水总和为全年的87%,6～8月占全年的67.7%。雨热同季,且此时正值蔬菜生产旺季,因此,既可满足蔬菜生长对温度和水分的要求,又可有效减少灌溉次数,实现蔬菜的高效生产[12]。

1.2 供试材料

供试土壤为栗钙土,土壤有机质含量9.86 g/kg,全氮0.80 g/kg,NH_4^+-N 6.28 mg/kg,NO_3^--N 2.69 mg/kg,速效磷10.37 mg/kg,速效钾93.7 mg/kg,pH值8.14(水土比2.5:1)。供试肥料为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含P_2O_5 12%)和硫酸钾(含K_2O 50%)。供试萝卜品种为春冠、春冠35、春光、春辉、春雪圣和春蕾,各品种的主要农艺性状:春冠为露地直播,生育期70 d左右,抗抽薹能力强,表皮光滑,青头部分颜色浅,根型筒状,美观、收尾好,肉质细腻,口感好;春冠35为根型圆筒状,青首,外观商品性状好,抗抽薹能力强,适宜在高寒地区及平原地区早播;春光原产于日本,极晚抽薹,抗黄萎病和病毒病,不易糠心,整齐度高,优质高产,最适宜冷凉地4～5月播种,6～7月收获;春辉原产于日本,属极晚抽薹品种,根茎7～8 cm,根长37 cm,根重1.2 kg左右,须根量少,空心少,适合加工;春雪圣原产于日本,属极晚抽薹品种,低温生长优良,根茎7～8 cm,根长37 cm左右,根重1.2 kg左右,须根少,空心症状极少发生,适于加工;春蕾原产于日本,皮色雪白,肉质脆甜,耐低温,生长快,根均匀,裂痕少,品质佳,易腌制。

1.3 试验设计

采用田间小区试验,小区面积4 m × 5 m = 20 m^2,每个品种重复3次,随机区组排列。肥料用量参考河北坝上错季菜产区萝卜丰产高效技术规程[13],氮、磷、钾肥按纯N 150 kg/hm^2、P_2O_5 75 kg/hm^2、K_2O 120 kg/hm^2于整地起垄前一次性施入土壤。萝卜采用人工点播的种植方式,播深1～1.5 cm,株距15 cm,行距40 cm。6月23日播种,9月1日收获。田间管理按照当地的生产习惯进行,萝卜生长期间及时灌水和防治病虫害。

1.4 样品采集及分析测定方法

分别在萝卜播种后的35 d、50 d和70 d取样,每次每个小区取5株萝卜,分地上和地下两部分,洗净后称重,记录各处理的鲜重,然后分取部分样品烘干至恒重。萝卜干样粉碎后,用浓$H_2SO_4-H_2O_2$消煮,凯式定氮法测定全氮,钒钼黄比色法测定全磷,火焰光度计法测定全钾。土壤样品的基本理化性质采用常规农化分析方法[14]。

1.5 数据处理

采用Microsoft Excel 2003和SPSS 17.0统计软件进行数据处理和统计分析,所用各指标的计算方法如下:

肉质根氮(磷、钾)累积分配系数(DI) = 肉质根氮(磷、钾)累积量/该时期总氮(磷、钾)累积量[15];

氮(磷、钾)生产效率(NPE)(kg/kg) = 肉质根产量/植株氮(磷、钾)累积总量[16];

氮(磷、钾)干物质生产效率(DMPE)(kg/kg) = 单位面积植株干物质累积总量/单位面积植株氮

(磷、钾)累积总量[17];

氮(磷、钾)偏生产力(PFP)(kg/kg) = 肉质根产量/氮(磷、钾)养分施用量[18]。

2 结果与分析

2.1 不同萝卜品种的鲜、干生物量比较

由于基因型差异,生长至 70 d 收获时,供试各萝卜品种叶片与肉质根的生物量明显不同(表 1)。叶片鲜、干重以春冠 35 最大,其次是春蕾,二者差异不显著,春雪圣最低,而春冠、春光和春辉叶片的鲜、干生物量均为中等水平,且三品种之间差异不显著。对肉质根产量进行比较,可知春冠 35 与春辉产量最高,春雪圣最低,较其他品种产量下降幅度达 31.8%～37.0%;各品种肉质根干物质量的差异与鲜重不同,春辉、春光和春蕾肉质根干重较高,且差异不显著,春冠 35 低于上述三个品种,但显著高于春冠和春雪圣。对供试的 6 个萝卜品种叶片和肉质根的生物量进行比较,结果发现二者并没有表现出明显的相关性(相关系数为 0.499),说明不同萝卜品种的生长发育特性表现出各自不同的特征。

表 1　不同萝卜品种的鲜、干重比较(kg/hm^2)

Table 1　Comparison of fresh biomass and dry-matter of different radish varieties

项目 Item	器官 Organ	春冠 Chun guan	春冠 35 Chun guan 35	春光 Chun guang	春辉 Chun hui	春雪圣 Chun xue-sheng	春蕾 Chun lei
生物量 Fresh biomass	叶片 Leaf	14889 bc	17032 a	13379 cd	13090 cd	12350 d	16358 ab
	肉质根 Fleshy root	65934 c	82929 a	76700 b	83037 a	52288 d	77025 b
干物质量 Dry matter	叶片 Leaf	1328 ab	1454 a	1200 bc	1201 bc	1152 c	1443 a
	肉质根 Fleshy root	2028 c	2497 b	2656 ab	2827 a	1891 c	2698 ab

注(Note):表中同一行数据后不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平(Duncan 法) Different letters in the same row indicate significant difference at the 5% level (Duncan's multiple test).

2.2 不同萝卜品种的养分累积分配特征

2.2.1 氮素累积分配特征　随着萝卜的生长发育,植株氮素逐渐累积(表 2),收获时总氮累积量达 74.9 kg/hm^2 ～106.9 kg/hm^2。不同采样时期,植株体内的氮累积分配量不同。生长 50 d 之前氮主要集中于叶片,肉质根中氮累积分配系数仅为 0.19 ～0.34,50 d 之后,生长重心转移至肉质根,氮素向生长旺盛部位转移,至收获时,肉质根的氮分配系数达 0.53 ～0.61。

品种之间比较,可以看出,播种后 35 d,春冠叶片吸氮能力最强,故其累积量最大,春冠 35 次之,但与春蕾差异不显著,春光最低;生长至 50 d 时,春冠 35 叶片氮素迅速累积且显著高于其他品种,春蕾最小,但与春雪圣差异不显著;70 d 收获时,则以春蕾叶片的氮素累积量最高,春冠 35 次之,且二者显著高于其他四个品种,春雪圣最低。由此可见,与其他 5 个品种相比,春蕾萝卜在播种后 35 d 之前以及 50 ～70 d 两个阶段是其吸氮速率较快、累积氮量明显较高的时期,而 35 ～50 d 期间的累积吸氮量则明显较低。

肉质根的氮累积量在 35 d 时明显低于叶片,仅 1.0 ～1.8 kg/hm^2,其中春蕾品种最高,故其肉质根氮分配系数明显高,春冠 35 最低;50 d 时,则以春辉的肉质根氮累积量显著高于其他品种,春蕾其次,春雪圣最低;70 d 时,春蕾肉质根氮累积量最高,春冠 35 次之,二者显著高于春辉,其他三品种差异则不显著;而肉质根氮累积分配系数以春辉、春雪圣和春蕾较高,春冠最低。

植株总氮量受各部位氮累积量的影响,因此各品种总氮量差异与叶片和肉质根氮累积量差异并不一致。由表 2 可知,在供试的 6 个萝卜品种中,春蕾的氮吸收累积能力最强,春冠 35 其次,春辉和春冠为中等水平,而春雪圣和春光累积吸氮量最低。

2.2.2 磷素累积分配特征　随着萝卜的生长发育,植株磷(P_2O_5)累积量总体呈增加趋势,但总量小于氮,且其分配规律与氮相似。在整个生育期间,肉质根内磷的分配系数逐渐增大(表 3)。收获时(70 d),春光、春辉、春雪圣和春蕾肉质根磷累积分配量高于叶片,春冠 35 两部位的磷分配量基本相当,而春冠肉质根中磷的分配量低于叶片。

表2 不同萝卜品种的氮素累积分配特征

Table 2 Characteristics of N accumulation and distribution in different radish varieties

项目 Item	生长天数(d) Growing day	春冠 Chun guan	春冠35 Chun guan 35	春光 Chun guang	春辉 Chun hui	春雪圣 Chun xue-sheng	春蕾 Chun lei
叶片 Leaf (kg/hm^2)	35	9.5 a	9.0 b	6.9 d	7.6 c	8.0 c	8.7 b
	50	25.7 b	37.4 a	29.4 b	26.6 b	22.5 c	19.8 c
	70	37.8 b	40.9 a	31.7 d	33.9 c	30.91 d	42.1 a
肉质根 Fleshy root (kg/hm^2)	35	1.5 b	1.0 e	1.3 c	1.0 e	1.2 d	1.8 a
	50	7.2 d	9.3 b	8.6 b	13.5 a	5.4 e	9.8 bc
	70	43.0 d	54.9 b	43.2 d	50.9 c	45.3 d	64.8 a
整株氮 Total N (kg/hm^2)	35	11.1 a	10.1 c	8.2 f	8.7 e	9.2 d	10.5 b
	50	32.9 d	46.7 a	38.1 b	40.0 b	27.9 e	28.2 e
	70	80.8 d	95.8 b	74.9 e	84.8 c	76.2 e	106.9 a
肉质根氮分配系数 N DI of root	35	0.14 c	0.10 e	0.16 b	0.12 d	0.13 d	0.17 a
	50	0.22 b	0.22 bc	0.23 b	0.34 a	0.19 c	0.33 a
	70	0.53 d	0.57 c	0.58 bc	0.60 a	0.59 ab	0.61 a

注(Note): DI—Distribution index. 表中同一行数据后不同小写字母表示差异达0.05显著水平(Duncan法)Different letters in the same row indicate significant difference at the 5% level (Duncan's multiple test).

表3 不同萝卜品种磷(P_2O_5)累积分配特征

Table 3 Characteristics of P_2O_5 accumulation and distribution in different radish varieties

项目 Item	生长天数(d) Growing day	春冠 Chun guan	春冠35 Chun guan 35	春光 Chun guang	春辉 Chun hui	春雪圣 Chun xue-sheng	春蕾 Chun lei
叶片 Leaf (kg/hm^2)	35	5.0 b	4.4 c	3.3 d	4.1 c	5.2 b	5.6 a
	50	15.6 c	17.8 a	16.1 b	16.0 b	11.7 d	11.7 d
	70	28.8 b	39.0 a	29.0 b	23.9 c	25.5 c	28.5 b
肉质根 Fleshy root (kg/hm^2)	35	1.4 b	1.2 c	1.1 c	0.9 d	1.2 c	1.5 a
	50	4.6 e	7.5 d	7.9 b	9.3 a	4.5 e	7.7 c
	70	25.2 f	38.2 d	42.0 c	49.8 a	37.1 e	44.5 b
整株磷 Total P_2O_5 (kg/hm^2)	35	6.4 b	5.6 d	4.5 f	4.9 e	6.2 c	7.2 a
	50	20.2 c	25.3 a	24.0 b	25.3 a	16.3 e	19.3 d
	70	54.1 e	76.5 a	72.0 c	74.3 b	62.6 d	73.6 b
肉质根磷分配系数 P_2O_5 DI of root	35	0.23 b	0.21 c	0.25 a	0.17 e	0.19 d	0.21 c
	50	0.23 f	0.30 d	0.33 c	0.37 b	0.28 e	0.40 a
	70	0.47 d	0.50 c	0.59 b	0.68 a	0.59 b	0.61 b

注(Note): DI—Distribution index. 表中同一行数据后不同小写字母表示差异达0.05显著水平(Duncan法)Different letters in the same row indicate significant difference at the 5% level (Duncan's multiple test).

播种后35 d,春蕾叶片磷累积量最高,春冠与春雪圣次之,春光最低; 50 d 时,春冠 35 叶片磷累积量显著高于其他品种,春蕾与春雪圣最低; 至 70 d 收获时,春冠35 仍保持最高的磷累积量,春辉最低,但与春雪圣差异不显著,其他三个品种之间差异不大。从整个生育时期来看,春蕾品种叶片磷的累积变化趋势与氮相似。

各品种肉质根磷累积差异表现为,35 d 时,春蕾最高,春冠次之,春辉最低,其他三个品种差异不显著; 生长至50 d 时,以春辉磷累积量最高,春冠与春雪圣显著低于春光、春冠 35 和春蕾,且后三者差异显著,表现为春光 > 春蕾 > 春冠35; 收获时,各品种间肉质根磷累积量差异显著,表现为春辉 > 春蕾 > 春光 > 春冠 35 > 春雪圣 > 春冠。由此可见,与其他品种相比较,春辉品种肉质根对磷的累积特征表现为生长 35 d 之前吸磷速率较低,对磷的累积总量也最低; 35 d 以后,随萝卜的生长发育,累积吸磷量迅速提高。春蕾肉质根随生长发育对磷的累积变化趋势与叶片相似。对整个生育期各品种的磷累积总量进行比较分析可知,春冠 35 累积吸磷量最高,春辉和春蕾次之,春光磷累积量显著高于春雪圣,而春冠累积吸磷能力最差。

2.2.3 钾素累积分配特征　各萝卜品种的钾(K_2O)累积总量变幅为 74.0 kg/hm^2 ~ 112.6 kg/hm^2(表4)。播种后 35 d,植株体内的钾主要分配在叶片中; 50 d 时,除春辉与春蕾外,仍表现为与苗期相似的分配动态; 由于钾是活跃的阳离子,积极参与肉质根内淀粉的合成与积累[19],故 50 d 之后,植株吸收的钾主要集中于肉质根,各品种肉质根的钾分配量明显高于叶片。各品种间比较,以春光与春辉肉质根钾分配系数最大,春雪圣最小。

70 d 收获时,叶片钾累积量以春蕾最高,而肉质根钾累积量则以春辉最高,但二者总钾量无显著差异; 春冠 35 总钾量显著低于上述二品种; 春冠 35 d 时各部位钾累积量仅显著低于春蕾,但收获时,其肉质根钾累积量和整株累积量均降至最低; 春光钾累积趋势与春冠相反,萝卜生长的35 d,钾累积能力最低,随后其累积吸钾能力逐渐提高,到70 d 收获时,总钾量显著高于春冠和春雪圣。在萝卜生长的三个关键时期,与其他品种相比较,春雪圣叶片钾累积呈"低-低-高"的变化趋势,收获时仅略低于春蕾,但其总钾量较低,仅显著高于春冠。

各品种总钾累积量大小与肉质根钾累积量变化趋势一致。可见,植株总钾累积量主要取决于肉质根中钾的累积。

表 4　不同萝卜品种钾(K_2O)累积分配特征

Table 4　Characteristics of K_2O accumulation and distribution in different radish varieties

项目 Item	生长天数(d) Growing day	春冠 Chun guan	春冠35 Chun guan35	春光 Chun guang	春辉 Chun hui	春雪圣 Chun xue-sheng	春蕾 Chun lei
叶片 Leaf (kg/hm^2)	35	5.1 b	5.2 b	3.7 d	5.2 b	4.6 c	5.5 a
	50	18.4 b	22.4 a	17.6 bc	16.2 c	13.9 d	13.3 d
	70	21.1 c	22.8 b	16.2 d	21.2 c	25.9 a	26.2 a
肉质根 Fleshy root (kg/hm^2)	35	2.4 b	1.7 d	1.4 f	2.0 c	1.5 e	2.6 a
	50	10.5 d	15.2 b	10.9 d	18.0 a	9.3 e	14.5 c
	70	52.9 d	82.5 b	69.5 c	91.4 a	55.9 d	82.9 b
整株 Total K_2O (kg/hm^2)	35	7.5 b	6.8 d	5.0 f	7.2 c	5.9 e	8.2 a
	50	29.5 c	37.6 a	28.6 cd	33.7 b	23.2 e	27.8 d
	70	74.0 e	105.3 b	85.7 c	112.6 a	81.8 d	109.1 a
肉质根钾分配系数 K_2O DI of root	35	0.32 a	0.24 c	0.27 b	0.27 b	0.25 c	0.32 a
	50	0.36 d	0.40 b	0.38 c	0.53 a	0.40 b	0.52 a
	70	0.71 c	0.78 b	0.81 a	0.81 a	0.68 d	0.77 b

注(Note): DI—Distribution index. 表中同一行数据后不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平(Duncan 法)Different letters in the same row indicate significant difference at the 5% level (Duncan's multiple test).

2.3 不同萝卜品种形成1000 kg产量的养分需求量比较

形成1000 kg产量所需养分量取决于该品种的产量与养分累积量。由于品种差异,各品种形成单位产量时所需养分量不同(表5)。春雪圣产量最低,各养分累积总量也普遍偏低,但按单位产量养分分配量计算,形成1000 kg产量所需N、P_2O_5和K_2O量均显著高于其他品种;春蕾次之;春光需氮量最小,春冠对磷、钾需求量均最低。不同萝卜品种对N、P_2O_5、K_2O的吸收比例存在阶段性差异,在50 d之前,对养分的吸收量为N > K_2O > P_2O_5,收获时,除春冠外,其他各萝卜品种的养分需求均表现为K_2O > N > P_2O_5。

表5 各萝卜品种形成1000 kg产量所需养分量及比例

Table 5 The amounts (kg) and ratios of N, P_2O_5 and K_2O for forming 1000 kg yield in different radish varieties

品种 Variety	N (kg)	P_2O_5 (kg)	K_2O (kg)	N:P_2O_5:K_2O 35 d	50 d	70 d
春冠 Chun guan	1.23 c	0.82 c	1.12 d	1:0.58:0.67	1:0.24:0.28	1:0.67:0.91
春冠35 Chun guan35	1.16 d	0.93 b	1.27 c	1:0.53:0.68	1:0.22:0.28	1:0.80:1.09
春光 Chun guang	0.94 f	0.90 b	1.12 d	1:0.54:0.59	1:0.21:0.23	1:0.96:1.19
春辉 Chun hui	1.02 e	0.91 b	1.43 b	1:0.57:0.83	1:0.27:0.83	1:0.89:1.40
春雪圣 Chun xue-sheng	1.46 a	1.16 a	1.70 a	1:0.67:0.69	1:0.21:0.65	1:0.79:1.16
春蕾 Chun lei	1.34 b	0.95 b	1.43 b	1:0.66:0.75	1:0.39:0.75	1:0.71:1.07

注(Note):表中同一列数据后不同小写字母表示差异达0.05显著水平(Duncan法)Different letters in the same column indicate significant difference at the 5% level (Duncan's multiple test).

2.4 不同萝卜品种养分生产效率、干物质生产效率及偏生产力比较

养分生产效率(NPE)表示萝卜吸收养分转化为产量的能力[16]。遗传因素是影响肉质根产量和养分累积量的主要原因之一,因此,不同品种养分生产效率各异。表6结果表明,春光与春辉的肉质根氮生产效率最高,春冠磷的生产效率最高,春冠和春光的钾生产效率最高。

养分干物质生产效率(DMPE)是评价营养元素生理利用效率的重要指标[17]。表6结果表明,同一品种不同养分的干物质生产效率不同,春光氮干物质生产效率显著高于其他品种,而磷、钾的干物质生产效率则属中等水平;春蕾的氮干物质生产效率最低,磷、钾则属中上等水平;春辉的钾干物质生产效

表6 不同萝卜品种养分生产效率、干物质生产效率及偏生产力比较(kg/kg)

Table 6 Comparison of NPE, DMPE and PFP of N, P_2O_5 and K_2O in different radish varieties

品种 Variety	养分生产效率 NPE			干物质生产效率 DMPE			偏生产力 PFP		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
春冠 Chun guan	815.9 b	1218.2 a	1254.0 a	43.0 c	64.9 a	66.4 a	439.6 c	1785.1 d	664.8 c
春冠35 Chun guan35	865.8 b	1073.7 b	1088.3 c	41.6 d	51.6 d	52.3 c	561.3 a	2320.4 a	855.3 a
春光 Chun guang	1024.8 a	1081.2 b	1228.1 a	50.9 a	53.8 c	61.0 b	511.3 b	2198.7 b	759.2 b
春辉 Chun hui	979.7 a	1126.5 ab	979.2 d	46.2 b	53.9 c	46.9 e	553.5 a	2164.5 b	837.3 a
春雪圣 Chun xue-sheng	685.6 c	834.9 c	836.1 e	40.2 e	48.9 e	49.0 d	348.6 d	1425.7 e	535.7 d
春蕾 Chun lei	720.7 c	1056.5 b	1157.2b	38.7 f	56.7 b	61.1 b	513.5 b	2067.7 c	788.7 b

注(Note):NPE—Production efficiency of nutrients; DMPE—Production efficiency of dry matter; PFP—Partial factor productivity. 表中同一列数据后不同小写字母表示差异达0.05显著水平(Duncan法)Different letters in the same column indicate significant difference at the 5% level (Duncan's multiple test).

率最低; 春冠的磷、钾干物质生产效率均最高; 而春雪圣各养分的干物质生产效率均明显偏低。氮的生产效率与干物质生产效率呈极显著正相关关系,相关系数达 0.919**; 钾素的两指标亦呈显著相关(r =0.888*); 而磷素的 NPE 和 DMPE 之间无显著相关性。

肥料偏生产力(PFP)反映了作物吸收肥料养分和土壤养分后所产生的边际效应[19]。在肥料投入等量的条件下,不同品种的各养分偏生产力表现各异(表6)。春冠 35 氮、磷、钾的偏生产力均最高,但氮、钾的偏生产力与春辉差异不显著; 春光的磷偏生产力显著高于春蕾,但上述两个品种的氮、钾偏生产力差异不显著,春冠各养分的偏生产力显著低于上述品种,但显著高于春雪圣。

3　讨论与结论

最大限度的挖掘品种的遗传潜力并提高产量和养分利用能力,一直是农业上研究的重点[20-22]。在施肥、灌溉等管理措施均一致的情况下,各供试萝卜品种产量差异明显,可见遗传因素对产量影响显著。作物对氮、磷、钾的吸收特性不仅反映了作物本身的特点,而且反映了作物的品种特点。在冀西北坝上冷凉气候条件下,春冠萝卜的氮累积量大于钾,而其他萝卜品种对养分的吸收总量均表现为 $K_2O > N > P_2O_5$。萝卜对氮、磷、钾养分的吸收高峰均出现在 50 d～70 d,该阶段其吸收量分别占全生育期吸收总量的 49.2%～72.4%、62.7%～74.0% 和 60.2%～74.5%。生育前期植株吸收的养分主要贮存在叶片内,以促进叶片形成更多的光合产物,为后期肉质根生长奠定基础,收获时则主要贮存在肉质根内。

不同萝卜品种对氮、磷、钾三大营养元素的吸收累积特性表现出了各自不同的特征。春蕾的氮累积量最高,春冠 35 磷累积量最高,而春辉对钾的累积量最高,上述三品种对另外两种养分的累积量亦普遍高于其他三个品种,说明这三个品种对氮磷钾的吸收累积利用能力较强; 而春光和春雪圣氮累积量显著低于其他各品种,春冠的磷、钾累积量最低,即三者对养分的吸收利用能力相对较差。因此,相比较春光、春雪圣和春冠三个品种,春辉、春冠 35 和春蕾为养分高效累积型品种。不同萝卜品种各养分的分配系数也不同,春辉和春蕾肉质根氮、磷、钾分配系数均较高,春冠 35 和春光肉质根中则仅有钾元素的分配系数较高,氮、磷分配系数相对偏低,而春雪圣肉质根氮、磷分配系数较高,钾分配系数最低,春冠的肉质根各养分分配系数均较低。

养分生产效率(NPE)是作物产量与养分累积量的比值[16]。养分积累是干物质生产的前提,且二者呈极显著正相关关系[23]。因此,作物的干物质生产特性和养分累积特性共同决定单位养分生产的干物质量(养分干物质生产效率)的多少[19],即作物对营养元素的生理利用效率[17]。本试验在施肥量及栽培措施均一致的前提下,氮的 NPE 与 DMPE 呈极显著正相关关系,钾素的二指标亦呈显著相关,而磷素的 NPE 和 DMPE 之间则无明显相关性。不同萝卜品种的养分生产效率与干物质生产效率表现各异,其中,春光氮的养分生产效率和干物质生产效率最高,春冠磷、钾的生产效率和干物质生产效率最高; 春蕾氮与春辉钾的生产效率和干物质生产效率均较低,而春冠 35 各养分的生产效率和干物质生产效率均为中等水平。可见,某一品种体内养分含量高,并不意味着该品种养分生理利用效率也高; 春雪圣各养分的干物质生产效率均普遍偏低。由此可见,春光为氮养分生理利用高效率品种,春冠为磷钾养分生理利用高效率品种; 而春雪圣无论是从养分的吸收累积角度还是从养分的生理利用角度分析,均属于低效率品种。

分析各萝卜品种在整个生长发育期的养分吸收利用特性可知,播种后 35 d 时间内,由于当地气温明显较低,萝卜生长发育较慢,一直为苗期发育阶段,此时对氮的需求量最高,而对磷、钾的需要量较少。因此,此期应注意氮肥的施用,以促进苗齐苗壮,但切忌施氮肥量过大,造成叶部徒长,导致输送到根部的同化物质减少,影响肉质根产量; 35 d～50 d 为肉质根膨大期,肉质根的加粗生长与伸长生长同步进行,但仍以叶片生长为主,根系对钾的吸收量显著增加,其次是氮和磷; 50 d 以后则是产量形成的关键时期,叶片生长较肉质根缓慢,大量同化产物向肉质根转移,因而这个时期是养分吸收的高峰期,加强肥、水供应是促进肉质根迅速发育的关键。各供试萝卜品种对氮磷钾三要素的需求特性,除春冠外,均表现为对钾的需求量最高,氮其次,磷最低,但形成 1000 kg 产量对氮磷钾的养分需求量各异。

因此,生产中应针对不同萝卜品种对养分的不同需求特性,结合土壤肥力变异合理调控氮磷钾养分供应,以实现萝卜的高产、高效生产。

参考文献:

[1] 韩太利,杨晓东,徐立功,等. 板叶红瓤萝卜新品种'潍萝卜2号'[J]. 园艺学报,2009,36(1):151.
Han T L, Yang X D, Xu L G *et al*. A new plate leaves and red flesh cultivar 'Wei Luobo 2' [J]. Acta Hortic. Sin., 2009, 36(1): 151.

[2] 张秉奎,赵利民. 耐抽薹萝卜新品种'凌翠'[J]. 园艺学报,2012,39(2):399-400.
Zhang B K, Zhao L M. A new spring radish hybrid 'Lingcui' [J]. Acta Hortic. Sin., 2012, 39(2): 399-400.

[3] 刘贤娴,王淑芬,李莉娜,等. 萝卜肉质根膨大过程中主要农艺学性状的变化[J]. 山东农业科学,2010,(4):31-33.
Liu X X, Wang S F, Li L N *et al*. Changes of major agronomic traits of Chinese radish during root expansion [J]. Shandong Agric. Sci., 2010, (4): 31-33.

[4] 张丽,宋曙辉,王文琪,何洪巨. 不同萝卜品种营养成分比较[J]. 北方园艺,2010,(20):57-58.
Zhang L, Song S H, Wang W Q, He H J. Comparison of nutrition components in different radish cultivars [J]. Northern Hortic., 2010, (20): 57-58.

[5] 李继淑,杨瑞,眭晓蕾,等. 不同萝卜品种品质指标的评价分析[J]. 华北农学报,2008,23(增刊):77-80.
Li J S, Yang R, Sui X L *et al*. Analysis and evaluation on nutritive quality indicators of different genotypes radish[J]. Acta Agric. Boreali-Sin., 2008, 23(S1): 77-80.

[6] 张贵龙,任天志,李志宏,等. 施氮量对白萝卜硝酸盐含量和土壤硝态氮淋溶的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(4):877-883.
Zhang G L, Ren T Z, Li Z H *et al*. Effects of nitrogen fertilization on nitrate content of radish(*Raphanus sativus* L.) and soil nitrate leaching[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(4): 877-883.

[7] 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.
Xu Y B, Zheng Y, Liu H B *et al*. The growth trend and nutrient absorption of N P K in radish cv. Xinlimei[J]. J. Yunnan Agric. Univ., 2004, 19(5): 575-579, 598.

[8] 张淑霞. 灯笼红萝卜鲜、干重生长动态及营养吸收特性的研究[J]. 河北职业技术师范学院学报,1999,13(1):24-28.
Zhang S X. Study on the growth trend of fresh and dry weight of Deng long hong radish and its uptake characteristics of nutrients [J]. J. Hebei Norm. Univ. Sci. Technol., 1999, 13(1): 24-28.

[9] Hegde D M. Effect of soil water potential, methods of irrigation and N on yield, N uptake and water use of radish[J]. Ind. J. Agric. Sci., 1987, 32(1): 24-29.

[10] Patil H B. Effect of N, P, K and their method of application on nutrient and ascorbic acid contents of radish[J]. South Ind. Hortic., 1986, 34(4): 266-270.

[11] Ormrod D P, Adedipe N O, Hofstra G. Ozone effects on growth of radish plants as influenced by nitrogen and phosphorus nutrition and by temperature[J]. Plant Soil, 1973, 39(2): 437-439.

[12] 杨福存. 坝上蔬菜栽培的理论与技术[M]. 北京:气象出版社,2003.7.
Yang F C. Cultivation techniques and theories of vegetables in Bashang region of Hebei province[M]. Beijing: Meteorological Press. 2003. 7.

[13] 张福锁,陈新平,崔振玲,等. 主要作物高产高效技术规程[M]. 北京:中国农业大学出版社,2010.
Zhang F S, Chen X P, Cui Z L *et al*. Technological regulations for high yield and high efficiency of the main crops[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
Bao S D. Soil and agro-chemistry analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.

[15] 赵新华,束红梅,王友华,等. 施氮量对棉铃干物质和氮累积量及分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):888-897.
Zhao X H, Shu H M, Wang Y H *et al*. Effects of nitrogen fertilization on accumulation and distribution of dry weight and nitrogen of cotton bolls[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(4): 888-897.

[16] 阳显斌,张锡洲,李廷轩,等. 磷素子粒生产效率不同的小麦品种磷素吸收利用差异[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(3):525-531.
Yang X B, Zhang X Z, Li T X *et al*. Differences of phosphorus uptake and utilization in wheat cultivars with different phosphorus use efficiency for grain yield[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(3): 525-531.

[17] 江立庚,曹卫星,甘秀芹,等. 不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量和品质的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(4):490-496.
Jiang L G, Cao W X, Gan X Q *et al*. Nitrogen uptake and utilization under different nitrogen management and influence on grain yield and quality in rice[J]. Sci. Agric. Sin., 2004, 37(4): 490-496.

[18] 张秀芝,易琼,朱平,等. 氮肥运筹对水稻农学效应和氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):782-788.
Zhang X Z, Yi Q, Zhu P *et al*. Agronomic responses to nitrogen application and nitrogen utilization in rice fields[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(4): 782-788.

[19] 张锋, 王建华, 余松烈, 等. 白首乌氮、磷、钾积累分配特点及其与物质生产的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 369-373.
Zhang F, Wang J H, Yu S L *et al*. Accumulation and distribution of nitrogen, phosphorus, and potassium in Cynanchum bungei Decne and their relationships to dry matter production[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(3): 369-373.

[20] Singh U, Ladha J K, Castillo E G *et al*. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in medium and long duration rice[J]. Field Crops Res., 1998, 58: 35-53.

[21] Le Gouis J, Be'ghin D, Heumez E, Pluchard P. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat[J]. Eur. J. Agron., 2000, 12: 163-173.

[22] 赵付江, 申书兴, 李青云, 等. 茄子氮效率品种差异的研究[J]. 华北农学报, 2007, 22(6): 60-64.
Zhao F J, Shen S X, Li Q Y *et al*. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in eggplants[J]. Acta Agric. Boreali-Sin., 2007, 22(6): 60-64.

[23] 祝丽香, 王建华, 耿慧云, 等. 桔梗的干物质累积及氮、磷、钾养分吸收特点[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 197-202.
Zhu L X, Wang J H, Geng H Y *et al*. Accumulation and distribution of N, P and K in Platycodon grandiflorum and their relationships to dry matter production[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(1): 197-202.