

不同萝卜肉质根中可溶性糖组分及含量分析

李媛媛¹, 王冰林², 张军¹, 焦东秀¹, 谭苍粟¹, 曹慧¹

(1. 山东省高校生物化学与分子生物学重点实验室, 潍坊学院 生物与农业工程学院, 山东 潍坊 261061;

2. 潍坊市农业科学院, 山东 潍坊 261071)

摘 要:可溶性糖含量是决定萝卜品质和商品价值的重要因子。现以 23 种不同萝卜品种为试材, 利用高效液相色谱法, 对不同萝卜材料肉质根韧皮部和木质部的糖组分及含量进行了测定, 分析了木质部、韧皮部糖分含量的相关性以及糖含量与甜度值的关系。结果表明: 萝卜肉质根韧皮部和木质部的可溶性糖都是由果糖、葡萄糖和蔗糖组成, 其中葡萄糖含量最高, 均值分别达到 $15.40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ (韧皮部)和 $19.37 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ (木质部), 其次是果糖, 蔗糖含量最低; 木质部可溶性糖含量均值高于韧皮部, 二者密切相关, r 值达到 0.8020^{**} ; 韧皮部和木质部甜度值分别与各自的总糖含量呈现极相关关系, r 值分别为 0.9939^{**} 和 0.9718^{**} , 在各种糖组分中, 果糖含量与甜度值相关性最大; 该研究为萝卜品质育种提供了一定的理论参考和可利用的品种资源。

关键词:萝卜; 高效液相色谱; 可溶性糖

中图分类号:S 631.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)04-0004-06

萝卜(*Raphanus sativus*)是一种以肉质根为主要食用部位的大众化蔬菜, 营养丰富, 应用广泛, 可熟食、生食和加工, 并具有较高的药用价值, 被誉为“小人参”。近 10 年来, 萝卜种植面积常年稳定在 120 万 hm^2 以上, 是我国第二大蔬菜^[1-2]。萝卜肉质根中可溶性糖含量是决定萝卜品质和商品价值的重要因子, 不仅显著影响萝卜营养品质, 还与风味品质、加工品质等密切相关^[3]。萝卜肉质根中可溶性糖的测定常常采用化学分析方法, 如斐林试剂比色法^[4]、蒽酮比色法^[5-6]、SOMOGYI 法^[7]等。但是这些常规方法存在易产生误差、仪器波动较大、并且化学反应步骤复杂繁琐等缺点。高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)是研究小分子物质的有效手段^[8], 已广泛用于各种水果的糖组分及含量等的分析^[9-12], 但利用 HPLC 法测定萝卜肉质根可溶性糖等方面的研究较少, 仅限于对 1 个或几个品种的肉质根平均糖含量的分析^[13-14]。该试验选用 23 种不同类型萝卜材料作为研究对象, 利

用 HPLC 法分别测定萝卜韧皮部和木质部中可溶性糖组分及其含量, 分析萝卜不同材料中可溶性糖组分和含量的变化规律, 木质部、韧皮部糖分含量的相关性以及各种糖含量与甜度值的关系, 以期对萝卜品质评价和品质育种提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试萝卜品种由潍坊市农业科学院提供, 包括 7 种青萝卜、9 种白萝卜、5 种红萝卜和 2 种心里美萝卜, 共计 23 种不同萝卜品种(表 1)。2014 年 8 月将上述萝卜材料种植于潍坊市农业科学院试验场内, 每个品种种植 15 株, 萝卜成熟时收获, 用于后续研究。

1.2 试验方法

随机取洗净的 1 个萝卜肉质根, 按照 1:2:1 的比例从上部到根部将萝卜横切为根头部、根中部和根下部。取根中部, 将其皮肉分离, 利用匀浆机将皮、肉分别匀浆。匀浆产物用于萝卜肉质根韧皮部(皮)和木质部(肉)的可溶性糖提取。每个品种重复 3 次。

1.3 项目测定

1.3.1 可溶性糖提取 可溶性糖提取过程参照王

第一作者简介:李媛媛(1979-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: yylilove@126.com.

基金项目:山东省高校科技计划资助项目(J15LF04)。

收稿日期:2016-09-26

表 1 萝卜品种及编号

Table 1 Cultivars of radish and accession

编号 Accession	品种类型 Type	品种名称 Cultivar
Q01	青皮青肉	“潍萝卜 1 号”
Q02	青皮青肉	“潍萝卜 3 号”
Q03	青皮青肉	“改良潍县萝卜”
Q04	青皮青肉	“常规潍县萝卜”
Q05	青皮青肉	“天津青萝卜”
Q06	青皮青肉	“青圆脆”
Q07	青皮青肉	“特选大青萝卜”
B01	白皮白肉	“大白沙 13 号早萝卜”
B02	白皮白肉	“白雪萝卜”
B03	白皮白肉	“韩晶玉翠”
B04	白皮白肉	“天字春南畔洲迟萝卜”
B05	白皮白肉	“南畔洲晚萝卜”
B06	白皮白肉	“特种母株 13 号萝卜”
B07	白皮白肉	“精选白萝卜”
B08	白皮白肉	“精选三尺白”
B09	白皮白肉	“潍萝卜 4 号”
H01	红皮白肉	“北京大红丰”
H02	红皮白肉	“潍萝卜 5 号”
H03	红皮白肉	“小五樱水萝卜 501”
H04	红皮白肉	“樱桃萝卜”
H05	红皮白肉	“五樱水萝卜”
X01	绿皮红肉	“潍萝卜 2 号”
X02	绿皮红肉	“北京心里美”

海波等^[15]的方法并加以改良。准确称取匀浆 1.0 g, 加入 80%乙醇 5 mL, 80 °C 水浴 30 min, 12 000 r · min⁻¹ 离心 10 min 后, 取上清液, 余下的沉淀再加入 80%乙醇 5 mL 重复提取 1 次, 以保证糖分彻底提取, 合并上清液。将上清液倒入蒸馏烧瓶中, 利用 BuCHI R-210 型旋转蒸发仪(水浴温度 70 °C, 压力 100 MPa, 旋转速度 3 r · s⁻¹)减压蒸干, 提取物利用 50%乙醇溶出并定容至 5 mL, 经 0.45 μm 滤膜过滤后上样分析。

1.3.2 色谱条件 可溶性糖含量测定采用示差折光检测法。高效液相色谱仪为戴安 UltiMate 3000

型, 示差折光检测器为 Shodex RI-101 型, 糖分析柱为安捷伦 5 μm, 4.6 mm × 150 mm, 流动相为乙腈: 水 (80:20), 流速 1 mL · min⁻¹, 进样量 10 μL, 柱温 33 °C, 检测器温度 33 °C。

1.3.3 标准曲线绘制 准确称取蔗糖 0.200 0 g、果糖 1.000 0 g、葡萄糖 1.000 0 g, 加入超纯水分别定容于 5 mL 容量瓶中, 配制成蔗糖 40 mg · mL⁻¹、果糖 200 mg · mL⁻¹、葡萄糖 200 mg · mL⁻¹ 标准母液。准确吸取各组分一定量的标准液混合, 用超纯水定容, 配成蔗糖 6.4 mg · mL⁻¹、果糖和葡萄糖 10.0 mg · mL⁻¹ 的混合标准液, 然后依次稀释, 配成蔗糖 3.2、1.6、0.8、0.4、0.2、0.1 mg · mL⁻¹, 果糖、葡萄糖均为 8.0、4.0、2.0、1.0、0.5、0.25 mg · mL⁻¹ 的系列混合标准溶液。根据峰面积和浓度制作标准曲线, 根据标准曲线得到样品中各糖组分含量。

1.3.4 总糖含量和甜度值的计算 总可溶性糖含量为果糖、葡萄糖和蔗糖之和。甜度值的计算式参照王镜岩^[16]的方法, 蔗糖、果糖、葡萄糖的甜度值分别为 1.00、1.75 和 0.70, 甜度值 = 蔗糖含量 × 1.00 + 果糖含量 × 1.75 + 葡萄糖含量 × 0.70。

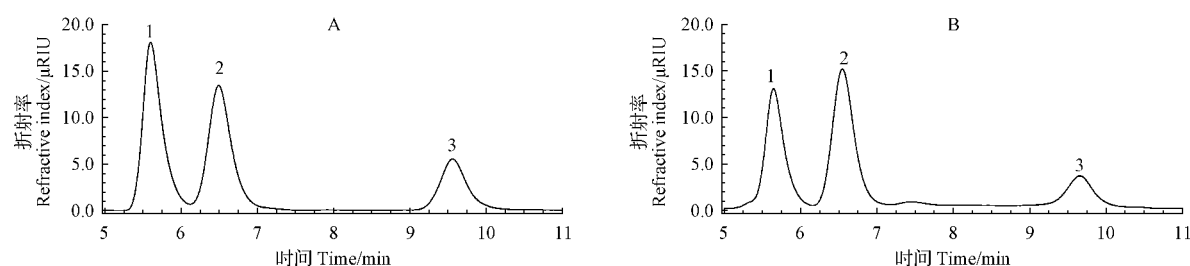
1.4 数据分析

采用 Excel 2007、SPSS 19.0 软件对数据进行处理分析和图形绘制。

2 结果与分析

2.1 HPLC 检测方法

2.1.1 3 种糖组分的检测 样品色谱图(图 1B)与标准样品(果糖 4.0 mg · mL⁻¹、葡萄糖 4.0 mg · mL⁻¹ 和蔗糖 1.6 mg · mL⁻¹)色谱图(图 1A)对照, 共检测到 3 种糖组分, 按出峰顺序依次为果糖、葡萄糖、蔗糖, 保留时间分别为 5.642、6.545、9.650 min, 检测到的糖组分在 11 min 内出峰完毕。



注: 1. 果糖; 2. 葡萄糖; 3. 蔗糖。

Note: 1. Fructose; 2. Glucose; 3. Sucrose.

图 1 标准品(A)及样品(B)中可溶性糖的 HPLC 分析

Fig. 1 HPLC analysis of water-soluble sugar standard(A) and radish fleshy root(B)

2.1.2 标准曲线 以糖浓度为横坐标,各组分糖峰面积为纵坐标,制作各糖组分定量分析的标准曲线,计算回归方程及其相关系数(表2)。果糖和葡萄糖在线性范围 $0.25 \sim 10.00 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$,相关系数分别达到了 0.999 72 和 0.999 97,蔗糖在线性范围 $0.10 \sim 6.40 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$,相关系数达到了 0.999 67,表明 3 种糖分浓度与峰面积线性关系较好。

表2 可溶性糖的回归方程、线性范围

Table 2 Linear range, regression equation of water-soluble sugars

组分 Component	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	线性范围 Linear range ($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)
果糖 Fructose	$y=1.342 9x+0.078 5$	0.999 72	0.25~10.00
葡萄糖 Glucose	$y=1.215 4x-0.005 6$	0.999 97	0.25~10.00
蔗糖 Sucrose	$y=1.441 4x-0.033 6$	0.999 67	0.10~6.40

2.2 方法的精密度和回收率

配制果糖 $8.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、葡萄糖 $8.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和蔗糖 $3.2 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 混合标准溶液,经 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜过滤后,每次进样吸取混合标准溶液 $10.0 \mu\text{L}$,重复 10 次,以各糖组分的峰面积计算相对标准偏差。得到果糖、葡萄糖、蔗糖相对标准偏差分别为 0.32%、1.47%、0.89%,精密度良好。

精确称取 1.00 g 的萝卜匀浆,加入 25 mg 果糖、葡萄糖、蔗糖的标准品,进行回收率检测,果糖、蔗糖、葡萄糖的回收率分别为 103.2%、99.8% 和 101.4%,回收率较好。

2.3 不同萝卜品种肉质根可溶性糖组成与含量

萝卜肉质根的可溶性糖主要由果糖、葡萄糖和蔗糖 3 种糖组成。由表 3 可以看出,在 23 个供试材料中,19 个品种的肉质根中都能检测到这 3 种糖,4 个品种(B02、B04、B06 和 H04)仅能检测到 2 种类型的糖,在韧皮部和木质部均未检测到蔗糖。在肉质根韧皮部中,葡萄糖含量最高,均值是 $15.40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,占韧皮部总糖含量的 52.49%;其次是果糖,含量均值和比例分别是 $10.06 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 和 34.29%;含量最低的是蔗糖,均值仅为 $3.88 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,占韧皮部总糖含量的 13.22%。在肉质根木质部中,各糖含量高低次序与韧皮部相同,也是葡萄糖含量最高(50.73%),果糖次之(43.03%),蔗糖最低(6.24%)。

2.3.1 葡萄糖 在萝卜肉质根韧皮部和木质部中,葡萄糖含量均最高。由表 3 可以看出,在 23 份材料中,韧皮部的最高值是 $22.06 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,最低值是 $6.57 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$;木质部的最高值是 $28.25 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,最低值是 $6.42 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 。

分析发现,大部分品种的韧皮部葡萄糖含量集中在 $12 \sim 20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,占有品种的 73.91%,仅有 1 个品种的含量大于 $20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,为青皮青肉中的“青圆脆”,而白皮白肉中的“大白沙 13 号早萝卜”“白雪萝卜”和红皮白肉中的“樱桃萝卜”等品种葡萄糖含量较低。大部分品种木质部葡萄糖含量集中在 $13 \sim 26 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,占有品种的 65.22%;有 4 个品种的含量大于 $26 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,为青皮青肉中的“天津青萝卜”“改良潍县萝卜”“潍萝卜 1 号”和红皮白肉中的“潍萝卜 5 号”,而白皮白肉中的“白雪萝卜”含量最低,仅为 $6.42 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 。在绝大多数品种中,木质部葡萄糖含量要高于韧皮部,有 4 个品种(B08、H01、H03 和 H05)的韧皮部果糖含量高于木质部,而 1 个品种(B02)的韧皮部和木质部葡萄糖含量基本相当。

2.3.2 果糖 在萝卜韧皮部和木质部中,果糖含量均值都低于葡萄糖,高于蔗糖(表 3)。果糖在韧皮部

表3 不同萝卜品种肉质根可溶性糖组成及含量

Table 3 Components and contents of soluble sugars in different species of radish $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$

编号 Accession	果糖 Fructose		葡萄糖 Glucose		蔗糖 Sucrose	
	韧皮部 Phloem	木质部 Xylem	韧皮部 Phloem	木质部 Xylem	韧皮部 Phloem	木质部 Xylem
Q01	14.51	24.28	18.37	26.30	5.23	3.17
Q02	13.16	22.84	15.42	25.40	5.24	2.35
Q03	12.99	24.17	19.18	27.42	4.66	3.45
Q04	15.70	25.61	18.88	25.60	9.06	5.63
Q05	15.14	25.26	19.53	28.25	5.74	3.40
Q06	16.39	21.27	22.06	24.84	7.72	5.89
Q07	14.14	20.82	17.90	23.41	6.70	3.77
B01	7.39	12.38	7.16	11.88	1.21	0.87
B02	7.82	12.02	6.57	6.42	0.00	0.00
B03	5.86	9.28	10.44	15.06	1.36	0.00
B04	6.67	16.80	19.70	20.41	0.00	0.00
B05	9.81	17.51	16.61	20.01	1.36	0.83
B06	11.61	14.85	12.47	13.95	0.00	0.00
B07	8.11	16.48	18.63	20.72	2.64	2.60
B08	7.83	13.92	17.65	16.51	2.94	1.60
B09	4.14	12.51	10.36	14.03	1.34	0.99
H01	11.35	4.67	19.36	10.36	4.88	7.77
H02	5.24	10.91	13.83	26.56	4.63	2.31
H03	11.41	11.96	13.10	11.09	3.88	1.24
H04	5.38	9.36	8.90	13.89	0.00	0.00
H05	7.04	7.40	18.09	15.88	2.83	0.94
X01	10.15	21.15	15.97	23.28	12.60	4.95
X02	9.65	22.43	14.06	24.29	5.27	3.04
平均值	10.06	16.43	15.40	19.37	3.88	2.38
比例/%	34.29	43.30	52.49	50.73	13.22	6.23

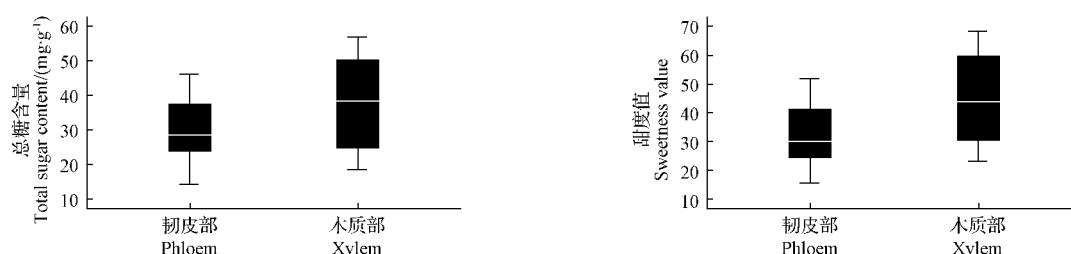
中的变化范围为 $4.14 \sim 16.39 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$, 韧皮部果糖含量较高的品种有“青园脆”“常规潍县萝卜”等; 含量低的品种主要集中在白皮白肉类型中, 如“潍萝卜 4 号”“韩晶玉翠”等。在木质部中果糖的变化范围为 $4.67 \sim 25.61 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$, 木质部中果糖含量较高的品种同样主要集中在青皮青肉类型中, 如“天津青萝卜”等, 果糖含量低的品种主要集中在红皮白肉类型中, 如“北京大红丰”等。几乎所有萝卜品种的韧皮部果糖含量皆远远低于木质部, 仅有 1 个品种(“北京大红丰”)的韧皮部果糖含量高于木质部。

2.3.3 蔗糖 与果糖、葡萄糖相比, 萝卜肉质根中蔗糖含量最少。韧皮部蔗糖含量变化范围在 $0.00 \sim 12.61 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$, 主要集中在 $1.00 \sim 6.00 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$, 占有品种的 65.22%, “潍萝卜 2 号”韧皮部蔗糖含量最高($12.61 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$), 而“白雪萝卜”“天字春南畔洲迟萝卜”“特种母株 13 号萝卜”“樱桃萝卜”中均未检测到蔗糖; 木质部蔗糖含量变化范围在 $0.00 \sim 7.77 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$, 集中在 $0.80 \sim 4.00 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$, 占有品种的 60.87%; 含量最高的品种是“北京大红丰”($7.77 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$)。此外, 在韧皮部未检测到蔗糖的 4 个品种, 在木质部中也未检测到蔗糖(表 3)。在含有蔗糖的萝卜品种

中, 只有“北京大红丰”的韧皮部蔗糖含量低于木质部, 其余 18 个品种的木质部蔗糖含量都高于韧皮部。

2.4 可溶性糖含量及甜度值

萝卜肉质根可溶性糖含量及甜度值变化范围和分布如图 2 所示。韧皮部总糖含量变化范围界于 $14.29 \sim 46.17 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$, 平均值是 $29.35 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$, 韧皮部总糖含量最高的品种是“青园脆”; 木质部总糖含量变化范围界于 $18.43 \sim 56.91 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$, 平均值是 $38.18 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$; 木质部总糖含量最高的品种是“天津青萝卜”, 含量为 $56.91 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 。韧皮部甜度值的变化范围为 $15.66 \sim 51.84$, 平均值是 32.28, 其中甜度值分布在 20~45 的品种占 69.57%; 甜度值大于 45 的特殊品种资源有 3 个, 全部是青皮青肉类型品种, 即“常规潍县萝卜”“天津青萝卜”“青园脆”。木质部甜度值的变化范围为 $23.19 \sim 68.37$, 平均值是 44.69, 甜度值在 25~60 的品种占 73.91%, 高甜度值品种主要集中在青皮青肉类型中, 其中“常规潍县萝卜”最高, 为 68.37。比较分析发现, 在所测品种中, 仅有 3 个品种(H01、H03、H05)的韧皮部可溶性糖含量和甜度值高于木质部, 其余品种的木质部可溶性糖含量和甜度值都明显高于韧皮部。



注: 箱内白线表示中间值, 箱体内部包括 50% 的数据, 箱高及从箱顶部和底部延伸出的虚线包含 99% 的品种。

Note: The horizontal lines in the interior of the box are the median values. The height in the box indicated the distribution for 50% of the data. Approximately 99% of cultivars falls inside the whiskers.

图 2 不同萝卜品种可溶性糖含量和甜度值变化范围和分布

Fig. 2 Range and distribution of total soluble sugars and sweetness value in different species of radish

2.5 糖组分的相关性分析

对萝卜肉质根木质部和韧皮部的不同糖组分、可溶性糖含量及甜度值进行相关性分析和显著性检验, 表 4 结果表明, 韧皮部总糖和木质部总糖密切相关($r=0.8020^{**}$), 韧皮部甜度值和木质部甜度值也呈现显著相关($r=0.7947^{**}$), 表明萝卜肉甜, 萝卜皮也甜; 同时韧皮部甜度值和木质部甜度值分别与各自的总糖含量极相关, r 值分别为 0.9939^{**} 和 0.9718^{**} 。韧皮部总糖和木质部总糖与其它各

个糖组分之间表现极显著正相关, 其中韧皮部总糖与韧皮部果糖的相关性最强($r=0.8656^{**}$), 其次是韧皮部葡萄糖($r=0.8627^{**}$); 木质部总糖与木质部果糖($r=0.9325^{**}$)和木质部葡萄糖($r=0.9470^{**}$)都呈极显著正相关, 这反映了葡萄糖和果糖均是构成萝卜肉质根总糖的重要因素。不同糖组分中, 韧皮部果糖、葡萄糖和蔗糖都与木质部相应的糖组分相关性最强, 但木质部果糖却与木质部葡萄糖相关性最好($r=0.8073$)。

表 4

糖组分的相关分析

Table 4

Correlation analysis of different components of sugar

	果糖 Fructose		葡萄糖 Glucose		蔗糖 Sucrose		总糖 Total sugar		甜度值 Sweet value	
	韧皮部 Phloem	木质部 Xylem	韧皮部 Phloem	木质部 Xylem	韧皮部 Phloem	木质部 Xylem	韧皮部 Phloem	木质部 Xylem	韧皮部 Phloem	木质部 Xylem
韧皮部果糖	1									
木质部果糖	0.715 6**	1								
韧皮部葡萄糖	0.599 6**	0.471 8*	1							
木质部葡萄糖	0.522 9*	0.807 3**	0.638 6**	1						
韧皮部蔗糖	0.615 3**	0.568 7**	0.521 9*	0.613 3**	1					
木质部蔗糖	0.645 2**	0.358 6	0.632 9**	0.430 8*	0.806 1**	1				
韧皮部总糖	0.865 6**	0.682 2**	0.862 7**	0.699 1**	0.813 0**	0.808 5**	1			
木质部总糖	0.704 4**	0.932 5**	0.643 0**	0.947 0**	0.705 4**	0.547 5**	0.802 0**	1		
韧皮部甜度值	0.933 9**	0.717 8**	0.782 9**	0.664 2**	0.799 3**	0.790 9**	0.985 7**	0.798 9**	1	
木质部甜度值	0.732 9**	0.971 8**	0.595 5**	0.903 1**	0.679 1**	0.508 1*	0.782 4**	0.990 9**	0.794 7**	1

注:相关显著水平: $P<0.05$ (*), $P<0.01$ (**).

Note: Significant at $P<0.05$ (*), $P<0.01$ (**).

3 讨论

在萝卜品质育种中,主要依赖品尝鉴别对甜味性状作出评价,这种方法由于品尝人员味觉的差异,缺乏准确性,并且萝卜辣味常常掩盖甜味,造成选择结果的错误^[1]。一些研究者利用常规方法测得的可溶性糖含量或还原糖含量作为萝卜甜味的参考评价指标^[3-4],但这些化学方法繁琐,误差偏大,同时因为果糖、葡萄糖、蔗糖的甜度值并不相同(果糖为1.75、葡萄糖为0.75、蔗糖为1.00),因此可溶性糖总含量,特别是还原糖总含量并不能真正反映萝卜肉质根的甜度情况。该试验发现,在各种糖组分中,韧皮部甜度值与其果糖含量相关系数最大($r=0.9718$);木质部甜度值与其果糖含量也呈极显著正相关($r=0.9939$)。虽然萝卜肉质根中葡萄糖含量均值最高,但由于果糖甜度最大(1.75),因此果糖含量是决定甜味的最主要因素。在苹果^[12,17]、梨^[9]、菠萝^[18]等研究中,也发现甜度值与果糖含量极显著正相关。因此,果糖含量在一定程度上反映了萝卜甜味的大小。在所有指标中,甜度值与可溶性总糖含量相关性最大, r 值达到极显著正相关,即利用 HPLC 法测得的3种糖分之和(可溶性总糖含量)可以比较准确的反映甜度值的大小。因此,在萝卜品质育种中,引入利用 HPLC 法测得的果糖或者可溶性总糖含量作为衡量萝卜甜味的化学指标参数,将可能实现对萝卜甜味大小的准确评价。

该试验利用 HPLC 法测定了23种萝卜肉质根韧皮部和木质部可溶性糖组分和含量,发现在这些萝卜材料中,无论在韧皮部还是木质部都是葡萄糖含量均值最高,其次为果糖,蔗糖含量最低。这与 HARA 等^[14]对6种萝卜材料肉质根可溶性糖含量

的研究结果类似。陆新华等^[18]认为根据蔗糖与单糖(果糖+葡萄糖)的比例可以确定糖积累类型,分为单糖积累类型(单糖与蔗糖的比值 >1.5)、蔗糖积累类型(蔗糖与单糖的比值 >1.5)。该研究中,23份萝卜材料中,单糖与蔗糖的比例都远远高于1.5,因此萝卜肉质根属于单糖积累类型。在萝卜肉质根累积的单糖中,虽然葡萄糖含量的均值最高,但也存在果糖含量要高于或大致等于葡萄糖含量的品种,因此不能简单的认为萝卜肉质根属于高葡萄糖类型。在苹果中,有些研究学者认为苹果是高果糖高蔗糖类型^[19],但也有研究认为苹果属于高果糖高葡萄糖类型^[20]。MA 等^[12]对364种不同苹果的可溶性糖组分含量进行详细研究后认为,出现上述矛盾的原因是选用材料的不同导致的,这2种糖类型在苹果中都存在。姚改芳等^[9]对多个梨品种资源的可溶性糖含量和组分分析结果同样发现,梨也存在不同的糖类型。因此推测,萝卜中同样存在不同糖类型品种,根据现有研究可能存在3种,即高葡萄糖类型、高果糖类型和高葡萄糖高果糖类型。该研究为萝卜品质育种提供了较好的材料资源和一定的理论指导。

参考文献

- [1] 汪隆植,何启伟.中国萝卜[M].北京:科学技术文献出版社,2005.
- [2] 梅时勇.系统开展萝卜全产业链科技研发,促进我国萝卜产业不断提档升级[J].长江蔬菜,2013(12):1-5.
- [3] 路昭亮,柳李旺,龚义勤,等.萝卜干物重和可溶性总糖含量的遗传分析[J].南京农业大学学报,2009(32):25-29.
- [4] 王绍辉,杨瑞,赵金芳,等.不同萝卜品种几个品质性状的评价分析[J].中国蔬菜,2006(4):22-23.
- [5] 王玮,龚义勤,柳李旺,等.萝卜肉质根膨大过程中糖含量及蔗糖代谢相关酶活性分析[J].园艺学报,2007,34(5):1313-1316.
- [6] 张丽,宋曙辉,王文琪,等.不同萝卜品种营养成分比较[J].北

方园艺,2010(20):57-58.

[7] JAYAKUMAR K, JALEEL C A, VIJAYARENGAN P. Changes in growth, biochemical constituents, and antioxidant potentials in radish (*Raphanus sativus* L.) under cobalt stress[J]. Turkish Journal of Biology, 2007, 31: 127-136.

[8] BRAVOL. Polyphenols: chemistry dietary source, metabolism, and nutritional significance[J]. Nutrition Review, 1998, 56(11): 317-333.

[9] 姚改芳, 张绍铃, 曹玉芬, 等. 不同栽培种梨果实中可溶性糖组分及含量特征[J]. 中国农业科学, 2010, 43(20): 4229-4237.

[10] 冯娟, 任小林, 田建文. 不同产地富士苹果多酚、可溶性糖及有机酸的对比研究[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 125-130.

[11] KAFKAS E, KOSAR M, PAYDAS S, et al. Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages[J]. Food Chemistry, 2007, 100: 1229-1236.

[12] MA B, CHEN J, ZHENG H, et al. Comparative assessment of sugar and malic acid composition in cultivated and wild apples[J]. Food Chemistry, 2015, 172: 86-91.

[13] 杜鲜云, 程继鸿, 杨瑞, 等. 春化处理对‘北农1号’萝卜碳水化合物含量及相关酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(11):

2303-2309.

[14] HARA M, TORAZAWA D, ASAI T, et al. Variations in the soluble sugar and organic acid contents in radish (*Raphanus sativus* L.) cultivars[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46: 2387-2392.

[15] 王海波, 杨建明, 李慧峰, 等. 珍珠油杏果实糖酸组分的高效液相色谱分析[J]. 山东农业科学, 2011(5): 102-104.

[16] 王镜岩. 生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.

[17] 郑丽静, 聂继云, 闫震, 等. 苹果可溶性糖组分及其含量特性的研究[J]. 园艺学报, 2005, 42(5): 950-960.

[18] 陆新华, 吴青松, 刘胜辉, 等. 菠萝种质果实可溶性糖组分及含量分析[J]. 热带作物学报, 2012, 33(5): 936-940.

[19] HECKE K, HERBINGER K, VEBERIC R, et al. Sugar-, acid- and phenol contents in apple cultivars from organic and integrated fruit cultivation[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2006, 60: 1136-1140.

[20] WU J, GAO H, ZHAO L, et al. Chemical compositional characterization of some apple cultivars[J]. Food Chemistry, 2007, 103(1): 88-93.

Component and Content Analysis of Soluble Sugar in Various Radish Cultivars

LI Yuanyuan¹, WANG Binglin², ZHANG Jun¹, JIAO Dongxiu¹, TAN Cangsui¹, CAO Hui¹

(1. Key Laboratory of Biochemistry and Molecular Biology in Universities of Shandong/College of Biological and Agricultural Engineering, Weifang University, Weifang, Shandong 261061; 2. Weifang Academy of Agricultural Sciences, Weifang, Shandong 261071)

Abstract: The content of soluble sugars is an important factor to determine the quality and value of radish. In this study, the content of soluble sugars in 23 cultivars of radish were quantified using high-performance liquid chromatography (HPLC). The correlation between sugar content of the xylem and that of phloem was analyzed. Furthermore, the relationship between sugar content and sweetness value was investigated. The results showed that, the major components of soluble sugars in root of radish were fructose, glucose and sucrose. The glucose content was the highest value, with a mean of $15.40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ (phloem) and $19.37 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ (xylem), followed by fructose, and the sucrose content was the lowest. The content of soluble sugar in xylem was higher than that in the phloem, and r value between them reached 0.802 0 (**). The sweetness value of phloem and its total sugar content showed high positively correlated. So did the sweetness value of xylem and its total sugar content. And the r value was 0.993 9 and 0.971 8, respectively. Moreover, fructose content was the maximum correlation with sweetness value. This study provided a theoretical reference and useful resources for radish quality breeding.

Keywords: radish; HPLC; soluble sugars