

董臣飞, 许能祥, 张文洁, 等. 稻草中非结构性碳水化合物不同组分的含量与分布[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(1): 165-171.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.01.020

稻草中非结构性碳水化合物不同组分的含量与分布

董臣飞¹, 许能祥¹, 张文洁¹, 顾洪如¹, 成艳芬²

(1.江苏省农业科学院, 农业农村部种养结合重点实验室, 江苏 南京 210014; 2.南京农业大学, 江苏 南京 210095)

摘要: 稻草中非结构性碳水化合物(NSC)是影响稻草青贮品质的重要性状。本研究利用籼稻黄华占和粳稻南粳9108研究稻草不同部位NSC不同组分的含量与分布,为改善稻草青贮品质提供依据。结果表明:南粳9108稻草中NSC含量极显著高于黄华占($P<0.01$);黄华占基部茎秆、中部叶鞘和上部叶片,南粳9108基部茎秆、叶鞘和叶片是NSC在植株中的主要贮存部位。黄华占倒1节叶鞘和倒2节茎秆NSC组分中淀粉占比较高,而南粳9108倒3节茎秆淀粉含量显著高于其他部位($P<0.05$)。稻草中可溶性淀粉含量占淀粉含量的比例均较低,这意味着稻草中大部分淀粉在青贮过程中难以被水解为发酵底物。在兼顾稻谷生产的前提下,调控稻草中NSC的组分是改善稻草青贮品质的可行手段。

关键词: 稻草; 非结构性碳水化合物(NSC); 淀粉

中图分类号: S511;S54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)01-0165-07

Content and distribution of nonstructural carbohydrates compositions in different parts of rice (*Oryza sativa* L.) straw

DONG Chen-fei¹, XU Neng-xiang¹, ZHANG Wen-jie¹, GU Hong-ru¹, CHENG Yan-fen²

(1. *Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Crop and Livestock Integrated Farming, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China*; 2. *Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract: The nonstructural carbohydrates (NSC) are important for the fermentation quality of rice (*Oryza sativa* L.) straw silage. In this study, the contents and distributions of NSC compositions in different parts of rice straw were studied by using *indica* variety Huanghuazhan and *japonica* variety Nanjing 9108, so as to provide the basis for improving the silage quality of rice straw. The results showed that the content of NSC in Nanjing 9108 rice straw was significantly higher than that in Huanghuazhan ($P<0.01$). The basal stem, middle leaf sheath and upper leaf of Huanghuazhan, and the stem, leaf sheath and leaf at the basic node of Nanjing 9108 were the main parts for NSC storage in plant. For Huanghuazhan, the ratios of starch in NSC compositions in the top 1st sheath and the top 2nd stem were relatively high, while the starch content in the top 3rd stem was significantly higher than that in other parts of Nanjing 9108 ($P<0.05$). In the rice straw of Huanghuazhan and Nanjing 9108, the proportion of soluble starch content in total starch content was low. Those results suggested that most part of starch in rice straw was difficult to be hydrolyzed into fermentation substrate during ensiling. Therefore, under the premise of considering rice production, regulating the NSC compositions in rice straw is a feasible means to improve its silage quality.

Key words: rice straw; non structural carbohydrate (NSC); starch

收稿日期: 2021-05-26

基金项目: 国家自然科学基金国际合作项目(32061143034)

作者简介: 董臣飞(1981-), 女, 山东青岛人, 博士, 副研究员。(E-mail) cfdong1981@126.com

目前中国稻草饲用率很低。影响稻草饲用品质及饲用率的重要原因之一是稻草中的结构性碳水化合物(Structural carbohydrates, SC)含量高,且难以被消化利用,而可被动物消化利用的非结构

性碳水化合物(Nonstructural carbohydrates, NSC)含量较低。NSC的主要成分包括淀粉、可溶性糖(Water soluble carbohydrates, WSC)等,是可被反刍动物消化的养分。青贮是保存饲草营养成分的有效方式。NSC中的WSC为青贮发酵提供直接底物,与稻草青贮品质呈显著正相关^[1];由于乳酸菌作用的底物主要是葡萄糖和果糖等单糖,大部分淀粉难以被乳酸菌直接利用,并且在青贮过程中难以降解。稻草的NSC中淀粉占比可高达70%左右^[2]。稻草与常规牧草不同,稻谷生产消耗了大量光合产物,改善稻草饲用品质必须关注光合产物的积累与分配。前期试验对水稻成熟期,即籽粒灌浆后期茎、叶中NSC的积累规律进行研究,NSC的主要组分WSC和淀粉主要贮存在倒3节茎秆中,均先下降后上升^[1-3]。因此,如能在生育期间对稻草中的NSC进行调控,提高NSC含量,并减少其中在青贮中难以被水解利用的淀粉的积累量,使更多的NSC以WSC或可溶性淀粉的形式存在,将有利于稻草青贮品质的改善。

水稻是世界范围内的主要粮食作物,从事水稻遗传育种研究的人员主要关注稻谷产量、稻米品质及水稻抗性等方面^[4-5],而从事饲料研究的人员更多关注稻草调制加工和饲喂效果等方面^[6-9],均缺乏通过遗传和生理途径改良稻草饲用品质的关注。而利用稻谷成熟后的稻草进行饲用是中国及其他土地等自然资源缺乏且存在粗饲料缺口国家和地区水稻饲用的主要方式,在兼顾稻谷生产的基础上通过品种选育或者在水稻生育期间通过栽培途径改善稻草饲用品质,是提高稻草饲用率最为直接有效的方式。因此将稻谷生产与稻草饲用品质改良相结合,在兼顾稻谷生产的前提下改良稻草饲用品质,是提高稻草饲用率的重要方向。

1 材料与试验方法

1.1 试验材料

常规籼稻品种:黄华占;常规粳稻品种:南粳9108。

1.2 试验设计与田间管理

本试验在江苏省农业科学院水稻试验田(南京)进行,2018年5月10日播种,6月10日插秧。随机区组设计,3次重复,每小区15行,每行10株,单穴单株栽播,行株距为25 cm×15 cm,常规肥水管理。

1.3 测定内容及方法

在水稻成熟时采集小区中部长势均一的植株5株,挑选均一的水稻植株30个,将倒1节茎秆、叶片、叶鞘,倒2节茎秆、叶片、叶鞘,倒3节茎秆、叶片、叶鞘分别剪下,105℃杀青15 min,65℃烘干,称质量,然后粉碎,过0.38 mm网筛。测定草粉中可溶性碳水化合物(Water soluble carbohydrates, WSC)、总淀粉和可溶性淀粉含量。WSC和总淀粉含量的测定参考Yoshida^[10]的方法,可溶性淀粉含量的测定采用碘显色法^[11]。

非结构性碳水化合物(Nonstructural carbohydrates, NSC)含量按照公式计算:NSC含量=WSC含量+淀粉含量。并计算同一植株不同节位NSC含量占该植株总NSC含量的比例,同一部位的淀粉含量占该部位NSC含量的比例,以及可溶性淀粉含量占淀粉总量的比例。

1.4 数据分析

用SPSS 11.5软件进行三因素方差分析,采用LSD法进行多重比较,用Excel软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 黄华占和南粳9108稻草NSC组分在不同节位茎、叶、鞘中的分布

黄华占是常规籼稻品种,南粳9108是常规粳稻品种。在稻谷成熟收获时,两个水稻品种稻草中不同节位的茎秆、叶鞘和叶片中非结构性碳水化合物(NSC)主要组分——可溶性碳水化合物(WSC)和淀粉含量见表1。黄华占倒1~倒3节不同部位中的WSC含量均显著高于淀粉含量($P<0.05$);倒1节茎秆WSC含量显著低于叶片和叶鞘($P<0.05$),其中叶片WSC含量最高,为123.19 mg/g;而倒2~倒3节茎秆WSC含量均显著高于叶片和叶鞘($P<0.05$),倒3节茎秆WSC含量最高,为238.99 mg/g,倒2节叶片WSC含量和叶鞘WSC含量差异不显著($P>0.05$),而倒3节叶片WSC含量显著高于叶鞘($P<0.05$);倒1节叶片WSC含量和倒2节叶片WSC含量差异不显著($P>0.05$),但均显著高于倒3节叶片($P<0.05$);倒2节叶鞘WSC含量显著高于倒1节和倒3节叶鞘($P<0.05$),且倒1节叶鞘WSC含量和倒3节叶鞘WSC含量差异不显著($P>0.05$)。倒1节叶鞘淀粉含量最高,为37.17 mg/g,显著高于同节位叶片和茎秆($P<0.05$),其中茎秆中含量最低,仅为12.41 mg/g;

倒2节茎秆淀粉含量和倒3节茎秆淀粉含量均显著高于同节位的叶片和叶鞘($P < 0.05$), 且倒2节茎秆淀粉含量显著高于倒3节茎秆淀粉含量($P < 0.05$), 倒2节叶片和叶鞘、倒3节叶片和叶鞘淀粉含量间差异不显著($P > 0.05$)。

表1 黄华占和南粳9108不同节位茎、叶、鞘NSC组分的含量

Table 1 Contents of nonstructural carbohydrate (NSC) compositions in stems, leaves and sheaths of Huanghuazhan and Nanjing 9108 at different nodes

品种	节位	部位	可溶性碳水化合物 (mg/g)	淀粉 (mg/g)
黄华占	倒1节	茎秆	67.95±5.26f	12.41±1.92f
		叶片	123.19±8.74c	19.63±0.95e
		叶鞘	89.32±1.83e	37.17±5.60c
	倒2节	茎秆	169.86±14.70b	67.41±5.63a
		叶片	124.52±4.80c	28.02±4.12d
		叶鞘	128.87±9.21c	24.23±2.98d
	倒3节	茎秆	238.99±8.56a	60.82±5.95b
		叶片	102.42±2.64d	25.90±1.94d
		叶鞘	88.60±2.58e	28.09±1.45d
南粳9108	倒1节	茎秆	65.99±8.15f	27.13±5.65e
		叶片	136.95±7.48d	26.41±6.10e
		叶鞘	102.19±3.93e	16.54±3.35f
	倒2节	茎秆	315.99±9.51a	75.01±5.31b
		叶片	170.83±8.26b	31.16±8.07d
		叶鞘	154.99±0.70c	70.41±1.73b
	倒3节	茎秆	155.29±0.22c	347.06±6.35a
		叶片	155.14±0.11c	64.68±9.16c
		叶鞘	155.14±0.28c	74.12±9.04b

同一列中同一品种不同小写字母表示差异达0.05水平显著。

南粳9108倒1、倒2节不同部位中的WSC含量均显著高于淀粉含量($P < 0.05$), 但倒3节中, 茎秆淀粉含量显著高于茎秆WSC含量($P < 0.05$); 倒1节中, 茎秆WSC含量为65.99 mg/g, 显著低于叶片和叶鞘($P < 0.05$), 其中叶片WSC含量最高, 为136.95 mg/g; 而倒2节中, 茎秆WSC含量显著高于叶片和叶鞘($P < 0.05$), 倒3节中, 茎秆WSC含量、叶片WSC含量和叶鞘WSC含量差异不显著($P > 0.05$); 倒2节中, 叶片WSC含量显著高于叶鞘($P < 0.05$); 倒2节叶片WSC含量显著高于倒1节和倒3节叶片WSC含量($P < 0.05$), 其中倒1节叶片WSC含量显著低于其他节位叶片WSC含量($P <$

0.05); 倒2节和倒3节叶鞘WSC含量显著高于倒1节叶鞘WSC含量($P < 0.05$), 且倒2节叶鞘WSC含量和倒3节叶鞘WSC含量差异不显著($P > 0.05$)。倒1节中, 叶鞘淀粉含量最低, 为16.54 mg/g, 显著低于叶片和茎秆($P < 0.05$); 倒2节中, 茎秆淀粉含量和叶鞘淀粉含量差异不显著($P > 0.05$), 但均显著高于叶片淀粉含量($P < 0.05$); 倒3节中, 茎秆淀粉含量最高, 为347.06 mg/g, 极显著高于叶片和叶鞘淀粉含量($P < 0.01$), 同时叶鞘淀粉含量显著高于叶片淀粉含量($P < 0.05$)。

南粳9108植株WSC含量和淀粉含量均极显著高于黄华占植株($P < 0.01$)。

2.2 黄华占和南粳9108稻草中可溶性淀粉含量

黄华占和南粳9108稻草中可溶性淀粉含量见表2。对于籼稻品种黄华占来说, 稻草中的淀粉含量不高, 其中可溶性淀粉含量更低, 倒1节茎秆、叶片和叶鞘可溶性淀粉含量极低; 倒2节茎秆、叶片和叶鞘可溶性淀粉含量也均低于10.00 mg/g; 倒3节中, 茎秆可溶性淀粉含量为20.83 mg/g, 显著高于叶片和叶鞘($P < 0.05$), 其中叶片可溶性淀粉含量仅为0.41 mg/g, 叶鞘可溶性淀粉含量为4.20 mg/g。

南粳9108倒3节茎秆可溶性淀粉含量为64.20 mg/g, 显著高于其他节位茎秆、叶片和叶鞘($P < 0.05$), 其次是倒2节茎秆可溶性淀粉含量为11.26 mg/g。其余节位叶片、叶鞘和茎秆可溶性淀粉含量均低于3.00 mg/g。

南粳9108植株可溶性淀粉含量极显著高于黄华占($P < 0.01$)。

表2 黄华占和南粳9108不同节位茎、叶、鞘可溶性淀粉的含量

Table 2 Contents of soluble starch in stems, leaves and sheaths of Huanghuazhan and Nanjing 9108 at different nodes

节位	部位	可溶性淀粉含量(mg/g)	
		黄华占	南粳9108
倒1节	茎秆	0.08±0.01e	0.17±0.01d
	叶片	0.69±0e	1.58±0.06d
	叶鞘	1.12±0.02e	0.84±0.01d
倒2节	茎秆	8.60±0.23b	11.26±0.25b
	叶片	5.78±0.03c	1.41±0.01c
	叶鞘	6.53±0.07c	2.16±0.04c
倒3节	茎秆	20.83±0.54a	64.20±0.41a
	叶片	0.41±0.01e	0.40±0.01d
	叶鞘	4.20±0.07d	2.03±0.02c

同一列中不同小写字母表示差异达0.05水平显著。

多因素方差分析结果表明,黄华占稻草中WSC、淀粉、可溶性淀粉含量均极显著低于南粳9108 ($P < 0.01$)。WSC含量以南粳9108倒2节茎秆最高;而淀粉和可溶性淀粉含量均以南粳9108倒3节茎秆最高;NSC总量也以南粳9108倒3节茎秆最高,极显著高于倒1节和倒2节茎秆 ($P < 0.01$),倒2节茎秆NSC总量极显著高于倒1节 ($P < 0.01$)。茎秆WSC、淀粉、可溶性淀粉和NSC含量均极显著高于叶片和叶鞘 ($P < 0.01$),叶片WSC含量和NSC含量高于叶鞘 ($P < 0.05$),但叶片淀粉和可溶性淀粉含量均低于叶鞘 ($P < 0.05$)。

2.3 黄华占和南粳9108稻草不同节位NSC含量占稻草总NSC含量的比例

倒1~倒3节茎秆、叶片和叶鞘NSC含量占单株稻草总NSC含量的比例见图1。对黄华占来说,倒1节叶片、倒2节茎秆、倒3节茎秆NSC含量分别占单株稻草总NSC含量的14.49%,15.18%和16.13%,其次是倒1节叶鞘和倒2节叶片,分别为13.00%和13.09%。对于南粳9108来说,倒3节茎秆NSC含量占单株稻草NSC含量的比例最高,为

23.11%,其次是倒2节茎秆,为17.09%,倒2节叶片、叶鞘,倒3节叶片和叶鞘NSC含量占单株稻草NSC总量的比例间差异不显著 ($P > 0.05$),在10.64%至11.67%之间,倒1节茎秆、叶片和叶鞘NSC含量占单株稻草总NSC含量的比例较低。

2.4 黄华占和南粳9108稻草不同部位淀粉含量占该部位NSC含量的比例

籼稻黄华占和粳稻南粳9108稻草不同节位叶片、茎秆和叶鞘淀粉含量占该部位NSC含量的比例见图2。黄华占倒1节叶鞘和倒2节茎秆中的淀粉占比最高,分别为29.29%和28.42%,其次是倒3节叶鞘,占比24.07%,倒3节茎秆和叶片中的淀粉含量分别占该部位NSC含量的20.29%和20.17%,其他部位的淀粉含量占该部位NSC含量的比例均在20%以下。南粳9108倒3节茎秆淀粉含量占该部位NSC含量的69.08%,极显著高于其他部位占比 ($P < 0.01$),倒3节叶鞘淀粉含量占比为32.26%,倒2节叶鞘淀粉含量占比为31.24%,倒1节茎秆淀粉含量占比为29.00%,倒3节叶片淀粉含量占比29.34%,其余部位淀粉含量占比均低于20%。

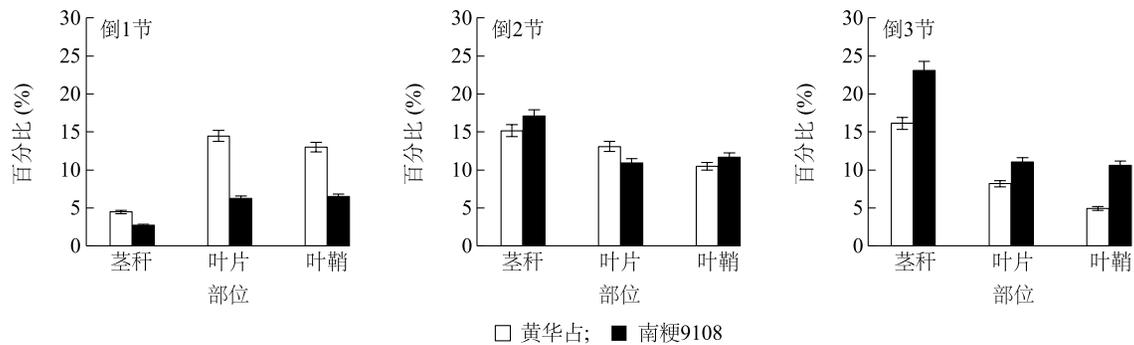


图1 黄华占和南粳9108不同节位茎、叶、鞘NSC含量占单株稻草NSC总含量的比例

Fig.1 The ratios of NSC content in different stems, leaves and sheaths of Huanghuazhan and Nanjing 9108 to the total NSC content of single rice straw

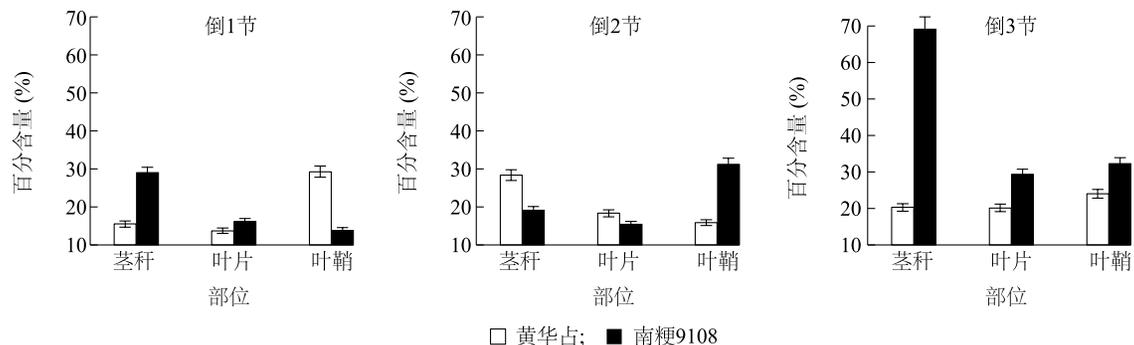


图2 黄华占和南粳9108不同部位淀粉含量占各个部位NSC含量的比例

Fig.2 The ratios between starch content and the NSC content of Huanghuazhan and Nanjing 9108

2.5 黄华占和南粳 9108 稻草不同部位可溶性淀粉含量占该部位淀粉含量的比例

黄华占和南粳 9108 稻草不同部位可溶性淀粉含量占该部位淀粉含量的比例见图 3。对于黄华占而言,倒 3 节茎秆可溶性淀粉含量占该部位淀粉含量的比例最高,为 34.47%,其次是倒 2 节叶鞘,为 27.21%,然后是倒 2 节叶片,为 20.93%;倒 3 节叶

鞘为 14.98%,倒 2 节茎秆为 12.83%,其他部位可溶性淀粉含量所占淀粉含量的比例均低于 5%。对于南粳 9108 而言,倒 1~倒 3 节茎秆、叶片和叶鞘可溶性淀粉含量占该部位淀粉含量的比例均低于 20%,其中倒 2 节茎秆所占比率为 15.05%,倒 3 节中茎秆所占比例为 18.50%,其他部位均低于 10.00%。

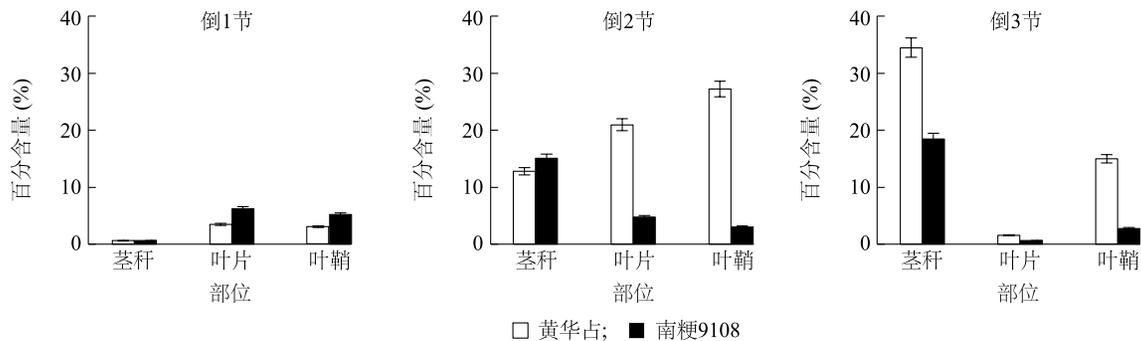


图 3 黄华占和南粳 9108 不同部位可溶性淀粉含量占各部位淀粉含量的比例

Fig.3 The ratios between soluble starch content and the total starch content of Huanghuazhan and Nanjing 9108

3 讨论

在稻草饲料化研究利用中,稻草中非结构性碳水化合物(NSC)含量是影响稻草青贮品质的重要指标^[12]。NSC 的主要成分包括可溶性碳水化合物(WSC)和淀粉。WSC 能直接为青贮发酵提供底物,而淀粉则需要水解后才能为发酵提供底物^[13]。淀粉在稻草中占有相当比例,但关于稻草中淀粉组成及分布的研究较少。本研究利用常规籼稻和常规粳稻品种,研究稻草不同部位 NSC 组分含量与分布规律,为改善稻草青贮品质、提高稻草饲用率提供依据。

3.1 粳稻南粳 9108 稻草 NSC 含量显著高于籼稻黄华占

前期研究结果表明常规籼稻、杂交稻稻草中的 NSC 含量极显著低于粳稻稻草^[1-2],本研究中籼稻黄华占稻草中 NSC 含量显著低于粳稻稻草中 NSC 含量(表 1),与前期研究结果基本一致。Dong 等^[2]报道水稻生育后期植株中 NSC 先转运到籽粒中,引起植株 NSC 含量下降,当灌浆完成后,又有部分光合产物重新贮存在植株中,使得稻草中的 NSC 含量上升。籼稻品种存在不同程度的早衰,而且多为大穗型品种,所以贮存在稻草中的光合产物大部分转

运到籽粒中,存留在稻草中的很少。这是导致籼稻和粳稻稻草中 NSC 含量差异的主要原因。

3.2 籼稻黄华占和粳稻南粳 9108 稻草 NSC 主要贮存部位存在差异

籼稻和粳稻稻草倒 1~倒 3 节茎秆、叶片和叶鞘 NSC 含量占单株稻草总 NSC 含量的比例呈现出不同规律。对于籼稻黄华占来说,基部茎秆 WSC 和淀粉含量显著高于上部茎秆,上部叶片 WSC 含量显著高于基部叶片,上部叶片淀粉含量则低于基部叶片,中部节位叶鞘 WSC 含量显著高于上部和基部叶鞘,上部叶鞘淀粉含量显著高于基部叶鞘;除了倒 1 节,茎秆 WSC 和淀粉含量均高于叶片和叶鞘;由于籼稻稻草中 NSC 的主要组分是 WSC,意味着籼稻基部的茎秆、中部的叶鞘和上部的叶片是植株营养体中贮存 NSC 的主要部位。

对于南粳 9108 来说,倒 3 节茎秆 NSC 含量占单株稻草 NSC 含量的比例最高,为 23.11%,其次是倒 2 节茎秆,为 17.09%;中部节位茎秆和叶片 WSC 含量显著高于基部茎秆和叶片,基部茎秆和叶片 WSC 含量高于上部茎秆和叶片,中部和基部叶鞘 WSC 含量则显著高于上部叶鞘;基部茎秆、叶片和叶鞘淀粉含量显著高于中部和上部茎秆、叶片、叶鞘,且上部茎秆、叶片、叶鞘淀粉含量最低;对于粳稻

来说,基部的茎秆、叶鞘和叶片是植株营养体中贮存 NSC 的主要部位。这与前期研究结果^[2-3]基本一致。另外,有研究结果表明玉米茎秆中淀粉和可溶性糖的含量显著大于叶片^[14-17]。这表明大多数禾本科牧草或作物营养体中 NSC 主要集中在基部茎秆。

3.3 粳稻南粳 9108 稻草中淀粉含量显著高于籼稻黄华占且可溶性淀粉含量较低

籼稻黄华占和粳稻南粳 9108 稻草不同部位叶片、茎秆和叶鞘淀粉含量占相应部位 NSC 含量的比例不同。黄华占倒 1 节叶鞘和倒 2 节茎秆淀粉含量占该部位 NSC 含量的比例显著高于其他部位,但均低于 30%(图 2)。南粳 9108 倒 3 节茎秆淀粉含量占该部位 NSC 含量的 69.08%,极显著高于其他部位(图 2),与前期结果^[1]一致。对于籼稻品种黄华占来说,稻草中的淀粉含量不高,其中的可溶性淀粉含量更低,倒 1 节茎秆、叶片和叶鞘可溶性淀粉的含量极低;倒 3 节茎秆可溶性淀粉含量为 20.83 mg/g,显著高于叶片和叶鞘。南粳 9108 倒 3 节茎秆可溶性淀粉含量为 64.20 mg/g,显著高于其他节位的茎秆、叶片和叶鞘可溶性淀粉含量,其次是倒 2 节茎秆可溶性淀粉含量为 11.26 mg/g,其余节位叶片、叶鞘和茎秆可溶性淀粉含量均低于 3.00 mg/g。这表明稻草中的淀粉主要是普通型淀粉。

水稻植株基部的 NSC 含量与水稻的抗倒伏性密切相关。Kashiwagi 等^[18]研究发现水稻基部茎和叶鞘中积累的大量碳水化合物可以提高茎秆的抗倒伏能力,同时他们还发现减缓叶片衰老,可以在水稻茎秆中积累碳水化合物从而提高茎秆抗倒伏能力,同时籽粒产量并不总是降低。粳稻是江苏地区主要的栽培水稻类型。粳稻稻草倒 3 节茎秆含有大量淀粉,且主要是在青贮过程中难以被利用的普通淀粉。因此,进一步研究倒 3 节茎秆中普通淀粉与水稻生产其他性状的关系,并在不降低稻谷产量、品质和抗病、抗倒伏等性状的前提下,在遗传育种及栽培过程中兼顾改良、调控粳稻品种倒 3 节茎秆中淀粉的形态是改善稻草青贮品质的可行途径。

4 结论

粳稻南粳 9108 稻草中的 NSC 含量极显著高于籼稻黄华占;黄华占基部的茎秆、中部的叶鞘和上部的叶片,南粳 9108 基部的茎秆、叶鞘和叶片是植株

营养体中 NSC 的主要贮存部位;黄华占倒 1 节叶鞘和倒 2 节茎秆淀粉含量占相应部位 NSC 含量的比例较高,而南粳 9108 中倒 3 节茎秆淀粉含量最高,显著高于其他部位。黄华占和南粳 9108 的稻草中可溶性淀粉含量占淀粉含量的比例较低,表明稻草中的淀粉主要是难以在青贮过程中被利用的普通淀粉。

参考文献:

- [1] DONG C F, XU N X, DING C L, et al. Rapid evaluation method for rice (*Oryza sativa* L.) straw feeding quality [J]. Field Crops Research, 2018, 228: 204-209.
- [2] DONG C F, LIU X B, QU H, et al. Dynamical partition of photosynthates in tillers of rice (*Oryza sativa* L.) during late growth period and its correlation with feeding value of rice straw at harvest [J]. Field Crops Research, 2011, 123(3): 273-280.
- [3] DONG C F, SHEN Y X, DING C L, et al. The feeding quality of rice (*Oryza sativa* L.) straw at different cutting heights and the related stem morphological traits [J]. Field Crops Research, 2013, 141: 1-8.
- [4] ZHANG W J, WU L M, DING Y F, et al. Top-dressing nitrogen fertilizer rate contributes to decrease culm physical strength by reducing structural carbohydrate content in japonica rice [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(5): 992-1004.
- [5] STELLA T, BREGAGLIO S, CONFALONIERI R. A model to simulate the dynamics of carbohydrate remobilization during rice grain filling [J]. Ecological Modelling, 2016, 320: 366-371.
- [6] YUANGKLANG C, SCHONEWILLE J T, ALHAIDARY I A, et al. Growth performance and macronutrient digestion in goats fed a rice straw based ration supplemented with fibrolytic enzymes [J]. Small Ruminant Research, 2017, 154: 20-22.
- [7] KRAIPROM T, TUMWASORN S. Optimum proportion of sweet corn by-product silage (SCW) and rice straw in total mixed ration using in vitro gas production [J]. Agriculture and Natural Resources, 2017, 51(2): 79-83.
- [8] LI X X, XU W B, YANG J S, et al. Effect of different levels of corn steep liquor addition on fermentation characteristics and aerobic stability of fresh rice straw silage [J]. Animal Nutrition, 2016, 2(4): 345-350.
- [9] CHERDTHONG A, WANAPAT W, WONGWUNGCHUN S, et al. Effect of feeding feed blocks containing different levels of urea calcium sulphate mixture on feed intake, digestibility and rumen fermentation in Thai native beef cattle fed on rice straw [J]. Animal Feed Science and Technology, 2014, 198: 151-157.
- [10] YOSHIDA S. Laboratory manual for physiological studies of rice [M]. Philippines, Los Baños: IRRI, 1976: 43.
- [11] 徐昌杰, 陈文峻, 陈昆松, 等. 淀粉含量测定的一种简便方法——碘显色法 [J]. 生物技术, 1998, 8(2): 41-43.

- [12] DONG C F, XU N X, DING C L, et al. Rapid evaluation method for rice (*Oryza sativa* L.) straw feeding quality [J]. *Field Crops Research*, 2018, 228: 204-209.
- [13] 许能祥,董臣飞,顾洪如,等. α -淀粉酶对不同 NSC 含量稻草青贮品质的影响[J]. *草业学报*, 2015, 24(11): 146-154.
- [14] 闫贵龙,曹春梅,鲁琳,等. 玉米秸秆不同部位主要化学成分和活体外消化率比较[J]. *中国农业大学学报*, 2006, 11(3): 70-74.
- [15] 吴光磊. 有机无机肥配施对玉米产量和品质的影响及生理基础[D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
- [16] 刘淑云. 不同施肥制度对夏玉米产量与品质形成的影响及其生理机制[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005.
- [17] 董臣飞,许能祥,丁成龙,等. 鲜食玉米采穗后不同植株部位饲用品质的变化及适宜收获方式研究[J]. *草业学报*, 2019, 28(10): 166-177.
- [18] KASHIWAGI T, MADOKA Y, HIROTSU N, et al. Locus *pr5* improves lodging resistance of rice by delaying senescence and increasing carbohydrate reaccumulation [J]. *Plant Physiology Biochemistry*, 2006, 44: 152-157.

(责任编辑:蒋永忠)