

许能祥, 张文洁, 顾洪如, 等. 收获期和调萎时间对全株小麦青贮品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(16): 134–140.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.16.019

# 收获期和调萎时间对全株小麦青贮品质的影响

许能祥, 张文洁, 顾洪如, 丁成龙

(江苏省农业科学院畜牧研究所/农业农村部种养结合重点实验室, 江苏南京 210014)

**摘要:**为探究不同收获期全株小麦用作青贮饲料时适宜的调萎时间, 以乳熟后期和蜡熟中期收获的扬麦 158 为材料, 分析全株小麦调萎 0、2、4、6、8 h 后的营养价值、青贮及 60 d 后青贮品质和微生物群落的动态变化。结果表明, 随着调萎时间的延长, 2 个收获期的全株小麦原料和青贮饲料的干物质含量、非结构性碳水化合物含量、粗蛋白含量等指标呈下降趋势, 乳熟后期和蜡熟中期青贮料的干物质回收率分别在调萎 4 h 和 2 h 达最高。蜡熟中期并调萎 2 h 后全株小麦的含水量低于 50%, 其青贮饲料的 pH 值显著上升, 乳酸含量和干物质回收率大幅下降, 好氧细菌、霉菌菌落数量大幅度增加。乳熟后期收获的全株小麦调萎 2~6 h 均能获得优质的青贮料, 而蜡熟中期调萎时间不宜超过 4 h。

**关键词:**调萎时间; 收获时期; 全株小麦; 青贮

**中图分类号:**S512.104 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)16-0134-07

我国一直是粮食为主、经济作物为辅的农业经济结构, 随着我国畜牧业的高速发展, 饲草料的缺乏已成为制约畜牧业发展的主要瓶颈。2015 年, 《中央一号文件》及李克强总理在中央农村工作会议报告中均强调, 要大力推动燕麦、饲用玉米、苜蓿等饲料植物的种植, 加速推进草牧业的发展, 开展“粮改饲”和种养结合模式试点, 促进粮-经-草三元种植结构协调发展。由单一玉米青贮逐渐发展至青贮甜高粱、青贮小麦、青贮燕麦和青贮苜蓿, 可为草食家畜提供营养及均衡的饲料配方<sup>[1-3]</sup>。在奶牛饲养发达的国家, 小麦青贮饲料已被大规模使用<sup>[4-5]</sup>, 奶牛采食全株小麦青贮饲料后, 泌乳量有所提高<sup>[6]</sup>。研究证实全株小麦青贮饲料比冬麦 70、黑麦草青贮饲料有更高的饲用价值<sup>[7]</sup>, 与其他禾本科牧草青贮相比, 全株小麦更容易调节原料的干物质含量, 青贮饲料品质更好, 粗蛋白含量相对较高<sup>[8]</sup>。为提高小麦种植的效益, 减少收获籽粒后麦秸的焚烧, 全株小麦青贮时, 收获期相比籽粒型小麦可适当提前, 下一茬作物的播种时间提前, 因此作物生长发育时间延长。对于新型三元种植结构的构建,

平衡粮草供给结构性具有重大意义<sup>[9-10]</sup>。尤其在江淮流域, 玉米、高丹草等 C<sub>4</sub> 牧草多在 8—10 月进行收割青贮, 易受天气影响导致无法机械化收获, 且阴雨天气对压窖而成的青贮饲料霉变率高; 而冬小麦一般在 5 月初即可收获青贮, 且这一时期雨水相对较少, 适合青贮的大面积收获。因此, 若能充分利用全株小麦青贮饲料的潜力, 不仅能够缓解南方优质饲草短缺问题, 也能为种植结构的调整提供新思路。

目前, 小麦青贮的研究方向主要集中在不同生育期<sup>[11]</sup>、不同收获高度<sup>[12]</sup>、不同添加剂<sup>[13]</sup>对小麦青贮品质的影响, 而针对不同生育期的全株小麦在调萎过程中养分的变化和调萎时间对其青贮发酵品质、微生物菌群的影响缺乏相应研究。因此, 本研究以江苏地区大面积种植的小麦品种扬麦 158 为材料, 分析其乳熟后期与蜡熟中期调萎处理的营养品质动态变化、发酵品质和微生物群落数量变化, 明确全株小麦在调萎过程中的饲用成分变化和最佳的全株小麦青贮调萎时间, 为全株小麦饲料化利用提供技术方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为江苏地区常用的小麦品种——扬麦 158。于 2021 年 11 月 10 日, 在江苏省农业科学院六合动物试验基地撒播, 播种量为 140 kg/hm<sup>2</sup>。根据前期试验结果表明, 扬麦 158 较耐肥, 撒播后施

收稿日期: 2022-12-15

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(21)2017]; 江苏现代农业产业技术体系建设专项[编号: JATS(2022)440]。

作者简介: 许能祥(1976—), 男, 江苏句容人, 硕士, 副研究员, 研究方向为饲草加工与利用。E-mail: xunengxiang97@aliyun.com。

通信作者: 丁成龙, 博士, 研究员, 主要从事饲草调制加工与利用技术研究。E-mail: dingcl@jaas.ac.cn。

入尿素 244.80 kg/hm<sup>2</sup> (含 N 量 46%), 并喷施沼液 128 000 L/hm<sup>2</sup> (全氮含量 871.58 mg/L, 全钾含量 876.15 mg/L, 全磷含量 38.51 mg/L)。

## 1.2 测定内容及方法

分别于乳熟后期和蜡熟中期收获小麦, 将小麦均匀铺于大田中凋萎, 厚度约 5 cm, 分别于 0、2、4、6、8 h 后随机取 1 500 g 鲜样分成 3 份, 迅速剪成 2~3 cm 小段, 混合均匀。每份称取部分全株小麦放置于 105 ℃ 的烘箱中杀青 30 min, 调至 65 ℃ 烘干至恒质量, 称质量, 根据烘干前后的质量计算出干物质含量, 后采用粉碎机粉碎样品过 0.38 mm 孔径的网筛, 在干燥的环境中保存, 用于测定可溶性碳水化合物、淀粉、粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量和干物质体外消化率, 非结构性碳水化合物 = 可溶性碳水化合物 + 淀粉。另一部分全株小麦装入塑料真空包装袋内, 每袋 300 g, 采用真空封口机抽气封口后在室温条件下保存。青贮时间达 60 d, 检测青贮饲料各项指标。根据青贮前后样品质量和干物质含量计算出干物质回收率。凋萎期间的温度、相对湿度、气压等气象指标使用 AZ 8910 小型气象仪记录。

**1.2.1 饲草品质测定** 可溶性碳水化合物与淀粉含量的测定采用 Yoshida 的方法<sup>[14]</sup>。粗蛋白含量采用蛋白分析仪 (KJEL TEC2300, Foss 丹麦) 测定。中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的测定采用范氏法<sup>[15]</sup>。干物质体外消化率的测定采用胃蛋白酶—纤维素酶两步法 (胃蛋白酶: 酶活为 1:10 000, 胃蛋白酶由 Sigma 公司提供, 纤维素酶由 Yakult 株式会社提供)。具体操作步骤: (1) 1 L 0.1 mol/L 盐酸溶液中加入 2 g 胃蛋白酶, 配成 0.2% 胃蛋白酶溶液; (2) 1 L 醋酸溶液 (pH 值 4.6) 中加入 10 g 纤维素酶, 配成 1% 的纤维素酶溶液。 (3) 在 39 ℃ 的恒温条件下试验样品在 0.2% 胃蛋白酶溶液中浸泡 16 h, 过滤; (4) 在 39 ℃ 的恒温条件下过滤残渣在 1% 纤维素酶溶液中浸泡 48 h, 在 90 ℃ 的烘箱中灭活 0.5 h, 再次过滤, 残渣烘干至恒质量, 计算出干物质体外消化率<sup>[16]</sup>。饲草品质分析测定均以样品的干物质为基础。

**1.2.2 青贮饲料及菌落数量测定** (1) 发酵品质测定。取出青贮饲料混合均匀后称取 20 g, 放入三角瓶中, 注入 180 mL 去离子水后放置 4 ℃ 冰箱中 24 h。后使用双层纱布过滤后再采用滤纸过滤, 一部分过滤液用于测定 pH 值, 另一部分及时放置于

-20 ℃ 冰箱中保存, 用于测定氨态氮和乳酸含量。pH 值使用型号为 FE20K 梅特勒 pH 计测定; 采用对羟基联苯方法<sup>[17]</sup>测定乳酸含量; 采用苯酚—次氯酸钠比色方法<sup>[18]</sup>测定氨态氮含量。

(2) 微生物培养及测定。①制作培养基。用于乳酸菌培养的 MRS 培养基: 牛肉膏 10.0 g、蛋白胨 10.0 g、酵母膏粉 5.0 g、葡萄糖 20.0 g、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 2.0 g、Tween-80 1.0 g、CH<sub>3</sub>COONa·3H<sub>2</sub>O 5.0 g、柠檬酸氢二铵 2.0 g、MnSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 54 mg、MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.2 g、H<sub>2</sub>O 1 000 mL、琼脂 20.0 g, 调节 pH 值为 6.5, 在 121 ℃ 蒸汽高压锅中灭菌 20 min 备用; 用于细菌培养的 NA 培养基: 牛肉膏 3 g、琼脂 20 g、蛋白胨 10 g、氯化钠 5 g、H<sub>2</sub>O 1 000 mL, 调节 pH 值为 7.0~7.2, 在 121 ℃ 蒸汽高压锅中灭菌 20 min 备用; 用于酵母菌和霉菌培养的马铃薯葡萄糖琼脂 (PDA) 培养基, 使用北京奥博星生物技术有限公司生产的 PDA 培养基。②制作微生物稀释溶液。称取 5 g 全株小麦青贮饲料, 放入三角瓶后加入 45 mL 无菌水, 封口膜封口, 放置摇床振荡 30 min, 静置 30 s 后成 10<sup>-1</sup> 稀释溶液; 取出 10<sup>-1</sup> 稀释溶液 0.2 mL, 加入装有 1.8 mL 生理盐水的试管中, 放置摇床摇匀后成 10<sup>-2</sup> 稀释溶液, 按照此方法, 不断稀释, 制成 10<sup>-4</sup>、10<sup>-5</sup> 等一系列微生物稀释溶液。③微生物培养操作步骤。用无菌吸管分别取出上述培养基稀释溶液 20 μL, 将稀释溶液轻轻滴入对应培养基平板表面的扇形区域中, 并在平板底面标明稀释度。然后, 加入菌液并用涂布棒在培养基上涂抹均匀。将涂抹好的培养基平板静置 20~30 min, 使菌液渗入培养基中, 最后将培养基平板倒转, MRS 培养基在厌氧条件下 37 ℃ 培养 48 h 计数, NA、PDA 培养基在有氧条件下 37 ℃ 培养 48 h 后计数。

(3) 饲用品质测定。收集剩余的全株小麦青贮饲料, 用于测定饲料干物质及饲用品质, 具体操作方法同本节步骤 (2)。

## 1.3 试验数据分析

使用 Excel 初步处理试验数据, 采用 SPSS 11.5 软件对数据进行双因素方差分析, 并进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 凋萎期间气象因子

2 个小麦收获时期天气为多云至晴, 乳熟后期的温度低于蜡熟中期, 尤其是 10:00—14:00 间, 相对湿度与气压呈相反趋势 (表 1)。小麦在自然风干

期间的气压变动幅度较小,集中在 1 011 ~ 1 019 bar,平均风速 1.2 ~ 1.8 m/s。凋萎期间乳熟期全株小麦含水量从 70.73%降低至 54.93%,而蜡熟期间小麦含水量从 63.81%降低至 35.35%。

表 1 凋萎期间气象因子及全株小麦含水量的变化

收获期	凋萎时间 (h)	温度 (℃)	相对湿度 (%)	气压 (bar)	风速 (m/s)	全株小麦含水量 (%)
乳熟后期	0 h(08:30)	18.4	68.5	1 019	1.8	70.73
	2 h(10:30)	17.7	30.5	1 018	1.4	67.81
	4 h(12:30)	20.6	30.5	1 018	1.6	63.41
	6 h(14:30)	20.8	60.9	1 018	1.8	59.04
	8 h(16:30)	20.2	62.7	1 017	1.3	54.93
蜡熟中期	0 h(08:30)	20.8	49.8	1 012	1.7	63.81
	2 h(10:30)	27.6	31.6	1 013	1.2	57.35
	4 h(12:30)	32.4	22.1	1 013	1.5	48.30
	6 h(14:30)	29.8	20.5	1 011	1.6	40.72
	8 h(16:30)	25.3	43.5	1 012	1.4	35.35

2.2 收获期和凋萎时间对全株小麦饲用品质的影响

由表 2 可知,全株小麦在 2 个收获期的可溶性碳水化合物、淀粉和非结构性碳水化合物含量均随凋萎时间的延长呈极显著下降趋势( $P<0.01$ )。乳熟后期收获时,可溶性碳水化合物含量为 7.59%,凋萎 8 h 后降至 3.45%,降幅为 54.55%;蜡熟中期收获时,全株小麦的可溶性碳水化合物含量为 5.16%,凋萎 8 h 后降至 2.07%,降幅为 59.88%。蜡熟中期各凋萎时间的淀粉含量均显著高于乳熟后期,乳熟后期凋萎 8 h 后,淀粉含量降幅为

29.58%,蜡熟中期凋萎 8 h 后,全株小麦的淀粉含量降幅为 17.12%。蜡熟中期各凋萎时间的非结构性碳水化合物含量均显著高于乳熟后期( $P<0.01$ ),乳熟后期凋萎 8 h 后,非结构性碳水化合物含量降幅为 40.78%,蜡熟中期凋萎 8 h 后,全株小麦的非结构性碳水化合物含量降幅为 28.08%。全株小麦 2 个收获期的粗蛋白含量随凋萎时间的延长呈下降趋势。乳熟后期,各凋萎时间的粗蛋白含量均显著高于蜡熟中期,凋萎时间对全株小麦 2 个收获期的粗蛋白含量变化影响较小。全株小麦 2 个收获期的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量随凋萎

表 2 收获期和凋萎时间对全株小麦原料饲用品质的影响

收获期	凋萎时间 (h)	营养成分含量(%)						饲料相对饲 喂价值(%)	干物质体外 消化率(%)
		可溶性碳水 化合物	淀粉	非结构性碳水 化合物	粗蛋白	中性 洗涤纤维	酸性洗涤 纤维		
乳熟后期	0	7.59a	9.33d	16.92cd	12.81a	43.02g	21.22e	156.47a	55.39a
	2	5.60bc	8.23e	13.83ef	12.37a	44.04f	21.20e	152.89b	55.21a
	4	5.10bc	8.15e	13.25ef	11.58b	45.48e	21.73de	147.22c	54.64a
	6	4.82bc	7.67e	12.49f	11.43bc	46.41cd	22.66cd	142.16de	53.72b
	8	3.45d	6.57f	10.02g	10.84c	46.69bc	23.21abc	140.06ef	52.73cd
蜡熟中期	0	5.16bc	15.07a	20.23a	11.19bc	43.20g	20.83e	156.32a	53.36bc
	2	4.87bc	14.28ab	19.15ab	11.18bc	44.28f	21.78de	151.12b	52.38d
	4	4.55c	13.27bc	17.82bc	10.95c	46.06de	22.88bcd	143.56d	51.80d
	6	2.85d	13.16c	15.95d	9.59d	47.12ab	23.94ab	138.67fg	50.53e
	8	2.07e	12.49c	14.55e	9.21d	47.69a	24.09a	136.82fg	48.56f
标准误		0.12	0.21	0.36	0.07	0.07	0.23	0.94	0.16
差异显著性	收获期	**	**	**	**	**	**	**	**
	凋萎时间	**	**	**	**	**	**	**	**
	交互作用	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*

注:同列数据后标有不同小写字母代表在 0.05 水平上差异显著;\* 表示差异显著( $P<0.05$ );\*\* 表示差异极显著( $P<0.01$ );NS 表示差异不显著( $P>0.05$ )。下表同。

时间的延长整体逐渐上升,乳熟后期收获时的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量分别为 43.02% 和 21.22%,凋萎 8 h 后分别上升至 46.69% 和 23.21%,增幅分别为 8.53% 和 9.38%;蜡熟中期收获时,中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量分别为 43.20% 和 20.83%,凋萎 8 h 后分别上升至 47.69%、24.09%,增幅分别为 10.39% 和 15.65%。饲料相对饲喂价值与中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量有直接相关性,不同生育期和凋萎时间影响中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量的变化,进而影响饲料相对饲喂价值。乳熟后期,不同凋萎时间的饲料相对饲喂价值均高于蜡熟中期,且凋萎时间越长两者差距越大。全株小麦 2 个收获期的体外干物质消化率均随凋萎时间的延长呈极显著下降趋势( $P<0.01$ ),乳熟后期收获时的体外干物质消化率为 55.39%,凋萎 8 h 后降至 52.73%,降幅为 4.80%;蜡熟中期收获时的体外干物质消化率为 53.36%,凋萎 8 h 后降至 48.56%,降幅为 9.00%。

2.3 收获期和凋萎时间对全株小麦青贮饲料饲用品质的影响

由表 3 可知,2 个收获期的全株小麦,其青贮饲料的可溶性碳水化合物、淀粉和非结构性碳水化合物含量随凋萎时间的延长呈极显著下降趋势( $P<0.01$ )。乳熟后期凋萎 8 h 的可溶性碳水化合物含量降幅为 42.06%;蜡熟中期凋萎 8 h 的可溶性碳水化合物含量降幅为 69.25%。蜡熟中期不同凋萎时间青贮饲料,其淀粉含量均显著高于乳熟后期( $P<$

0.05),乳熟后期凋萎 8 h 后青贮饲料淀粉含量的降幅为 35.76%,蜡熟中期凋萎 8 h 后青贮饲料淀粉含量的降幅为 24.03%。蜡熟中期不同凋萎时间的青贮饲料,其非结构性碳水化合物含量均显著高于乳熟后期( $P<0.05$ ),乳熟后期凋萎 8 h 后,青贮饲料非结构性碳水化合物含量的降幅为 38.07%,蜡熟中期凋萎 8 h 后,青贮饲料非结构性碳水化合物含量的降幅为 34.66%。全株小麦青贮饲料在 2 个收获期的粗蛋白含量随凋萎时间的延长呈下降趋势,不同凋萎时间的青贮饲料在乳熟后期的粗蛋白含量均显著高于蜡熟中期( $P<0.05$ )。全株小麦青贮饲料在 2 个收获期的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量随凋萎时间的延长逐渐上升,不同凋萎时间的青贮饲料在蜡熟中期的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量均显著高于乳熟后期( $P<0.05$ ),乳熟后期凋萎 8 h 的青贮饲料,中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量与不凋萎处理相比,增幅分别为 7.65% 和 19.50%;蜡熟中期凋萎 8 h 的青贮饲料,其中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量与不凋萎处理相比,增幅分别为 7.27% 和 14.44%。乳熟后期不同凋萎时间的青贮饲料,其饲料相对饲喂价值均显著高于蜡熟中期相同凋萎时间处理下的青贮饲料( $P<0.05$ )。不同收获期的全株小麦青贮饲料,其体外干物质消化率均随凋萎时间的延长呈极显著下降趋势( $P<0.01$ ),乳熟后期,不同凋萎时间的小麦全株青贮饲料,其体外干物质消化率为 53.88%,凋萎 8 h 后调制的青贮饲料,其体外干物质消化率降至

表 3 收获期和凋萎时间对全株小麦青贮饲料饲用品质的影响

收获期	凋萎时间 (h)	营养成分含量(%)						饲料相对饲 喂价值(%)	干物质体外 消化率(%)
		可溶性碳水 化合物	淀粉	非结构性碳水 化合物	粗蛋白	中性洗涤 纤维	酸性洗涤 纤维		
乳熟后期	0	4.47a	7.97cd	12.45bc	11.76a	46.53e	21.03e	148.18a	53.88a
	2	3.63ab	7.33d	10.96cd	11.73a	46.64e	21.30e	144.23b	53.08ab
	4	3.57ab	7.13d	10.71cd	11.03b	47.15de	22.13e	141.37b	53.29ab
	6	2.96bc	6.28de	9.25de	10.57bc	48.05de	23.77d	136.27c	52.52ab
	8	2.59bc	5.12e	7.71e	10.02d	50.09bc	25.13cd	128.75d	51.42bc
蜡熟中期	0	3.74ab	12.07a	15.81a	10.33cd	48.39d	24.38cd	134.40c	51.47bc
	2	2.56bc	11.89a	14.45ab	9.83d	49.96c	25.68bc	128.22d	50.31cd
	4	2.22cd	11.05a	13.26b	8.95e	50.65abc	26.86ab	122.43e	49.85cde
	6	1.82cd	10.50ab	12.33bc	8.04f	51.69ab	27.42a	121.56e	49.26de
	8	1.15d	9.17bc	10.33cd	7.28g	51.91a	27.90a	120.37e	48.08e
标准误		0.23	0.49	0.87	0.04	0.47	0.44	1.78	0.59
差异显著性	收获期	**	**	**	**	**	**	**	**
	凋萎时间	**	**	**	**	**	**	**	**
	交互作用	NS	NS	NS	*	NS	NS	**	NS

51.42%,降幅为 4.57%;蜡熟中期,不同凋萎时间处理的青贮饲料,其体外干物质消化率为 51.47%,凋萎 8 h 后的青贮饲料其体外干物质消化率降至 48.08%,降幅为 6.59%。

2.4 全株小麦干物质含量及干物质回收率变化

由图 1 可知,全株小麦原料和青贮饲料在 2 个收获期的干物质含量均随凋萎时间的延长呈极显著上升趋势( $P<0.01$ );在相同的凋萎时间下,蜡熟中期的原料和青贮饲料干物质含量增幅大于乳熟后期。全株小麦原料和青贮饲料的干物质含量随收获期的延迟呈极显著上升趋势( $P<0.01$ )。乳熟后期全株小麦原料和青贮饲料的干物质含量动态变化呈交叉形状,对应的干物质回收率呈“低—高—低”的变化趋势;而蜡熟中期则呈“<”形状,对应的干物质回收率呈逐渐下降趋势,尤其是当原料干物质含量 $>50\%$ 时,下降幅度更大。

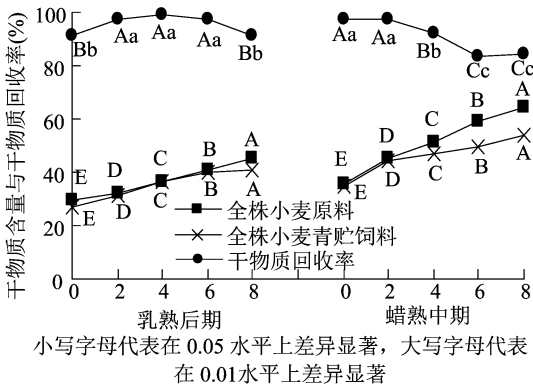


图1 全株小麦干物质含量及干物质回收率变化

2.5 收获期和凋萎时间对全株小麦青贮饲料发酵品质的影响

由表 4 可知,全株小麦青贮饲料在 2 个收获期的 pH 值均随凋萎时间的延长呈极显著上升趋势( $P<0.01$ ),其中乳熟后期收获,凋萎 0~4 h 后的全株小麦,其青贮饲料的 pH 值在 4.2 左右;蜡熟中期收获,没有凋萎的全株小麦,其青贮饲料 pH 值为 3.97,凋萎 6 h 以上,其青贮饲料的 pH 值 $>5.0$ 。2 个收获期的全株小麦青贮饲料,其乳酸含量随凋萎时间的延长均呈极显著减少趋势( $P<0.01$ ),其中,乳熟后期青贮饲料乳酸含量范围为 9.66~18.70 g/kg,蜡熟中期乳酸含量范围为 1.76~15.50 g/kg,降幅大于乳熟后期。乳熟后期的氨态氮含量/总氮含量随着凋萎时间的延长显著减少( $P<0.05$ ),而蜡熟中期呈现先降后升的趋势,变化幅度远远超过乳熟后期。

表 4 收获期和凋萎时间对全株小麦青贮饲料发酵品质的影响

收获期	凋萎时间 (h)	pH 值	乳酸含量 (g/kg)	氨态氮含量/总氮含量 (g/kg)
乳熟后期	0	4.23ef	18.70a	68.64c
	2	4.15ef	17.77a	59.94f
	4	4.23ef	14.16c	59.15g
	6	4.75cd	12.51d	56.24h
	8	4.87bc	9.66e	52.29i
蜡熟中期	0	3.97f	15.50b	61.48e
	2	4.45de	10.70e	55.70h
	4	4.80cd	7.48f	63.58d
	6	5.19ab	2.73g	89.19b
	8	5.27a	1.76g	91.05a
标准误		0.03	0.29	0.11
差异显著性	收获期	**	**	**
	凋萎时间	**	**	**
	交互作用	*	**	**

2.6 收获期和凋萎时间对全株小麦青贮饲料微生物菌落的影响

由表 5 可知,2 个收获期的全株小麦,其青贮饲料的乳酸菌菌落数量均随凋萎时间的延长呈极显著下降趋势( $P<0.01$ ),乳熟后期各凋萎时间青贮饲料的乳酸菌菌落数量均分别显著高于蜡熟中期( $P<0.05$ )。2 个收获期的全株小麦,其青贮饲料的好氧细菌菌落数量随凋萎时间的延长均呈极显著上升趋势( $P<0.01$ ),乳熟后期收获的各凋萎时间青贮饲料的乳酸菌菌落数量均分别显著高于蜡熟中期( $P<0.05$ )。随着凋萎时间的延长,2 个收获期的全株小麦,其青贮饲料的酵母菌菌落数量均呈先升后降的趋势。2 个生育期全株小麦的青贮饲料霉菌菌落数量均在凋萎 8 h 时达最高值,且蜡熟中期霉菌菌落数量高于乳熟后期。

3 讨论

3.1 收获期和凋萎时间对全株小麦原料及青贮饲料饲用品质的影响

凋萎<sup>[19]</sup>和推迟收获期<sup>[7]</sup>能有效降低全株小麦的含水量,同时,粗蛋白、非结构性碳水化合物等养分含量也随之下降,而结构性碳水化合物(中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维等)含量呈增加趋势,导致体外干物质消化率和饲料相对饲喂价值呈逐渐下降的趋势。这是由于收获后的小麦切断了与根部的联系,小麦生长的营养元素和水分等供给被中断,

表 5 不同收获期和凋萎时间全株小麦青贮料微生物菌落变化

收获期	凋萎时间 (h)	乳酸菌 ( $\times 10^5$ CFU/g)	好氧细菌 ( $\times 10^5$ CFU/g)	酵母菌 ( $\times 10^3$ CFU/g)	霉菌 (CFU/g)
乳熟后期	0	17.84a	5.66h	6.69f	16.50e
	2	15.43b	8.17g	7.46e	20.50cd
	4	10.48e	9.17g	11.53d	18.00de
	6	6.91g	15.13e	17.53a	17.50e
	8	1.14h	19.36d	1.45g	26.00b
蜡熟中期	0	11.44d	6.49h	7.29ef	16.00e
	2	11.92c	11.03f	13.47c	15.50e
	4	10.05f	31.48c	13.67c	17.50e
	6	0.49i	51.80b	15.54b	22.00e
	8	0.48i	72.03a	10.94d	30.50a
标准误		0.01	0.30	0.09	1.58
差异显著性 收获期		**	**	**	NS
凋萎时间		**	**	**	**
交互作用		**	**	**	**

而此时小麦细胞与组织还保持较强烈的活性,刚开始植株的同化合成能力大于分解能力,经一段时间后,植株的分解能力大于合成能力,最终因水分胁迫作用消耗了植株部分营养物质(粗蛋白、可溶性碳水化合物等)<sup>[20]</sup>。这与许能祥等研究发现的在自然风干过程中,新鲜稻草的水分、粗蛋白和非结构性碳水化合物含量持续下降的结论<sup>[21]</sup>一致。随着时间的推迟和天气阴晴的变化,全株小麦蜡熟中期收获比乳熟后期气温和起始干物质含量显著提高,导致蜡熟中期水分含量下降幅度高于乳熟后期,而淀粉含量则随着收获期的推迟呈增加趋势。

原料水分含量是青贮成败的关键因素之一,Huhnke 等对不同含水量(20%~65%)的禾豆科植物进行混合青贮研究显示,混贮 6 个月后,其粗蛋白、酸性洗涤纤维和总消化养分发生了明显变化,青贮时的原料含水量高于 50% 更有利于保存青贮饲料的养分<sup>[22]</sup>。因此,我们可通过凋萎来控制全株小麦青贮适宜的水分含量,其中,乳熟后期全株小麦凋萎时间 4~8 h 的含水量范围为 54.93%~63.41%,而蜡熟中期原料凋萎时间 0~2 h 含水量范围为 57.35%~63.81%。从干物质回收率来看,乳熟后期呈现“低—高一低”的趋势,凋萎 4 h 达最大值,且回收率高、变化幅度小。而蜡熟中期随着凋萎时间 2 h 后,全株小麦含水量呈下降趋势,含水量低于 50%,导致原料不易压实,pH 值偏高,好氧菌与腐败菌的增殖速度加强,微生物的有氧活动损

耗了大量的养分<sup>[23]</sup>,可能是造成凋萎 2 h 后青贮饲料的干物质回收率大幅下降的原因。

研究表明,除了青贮原料水分含量外,原料自身的可溶糖含量也是青贮成功的重要因素,在新鲜原料中可溶性碳水化合物含量不足 2.5%~3.5% 且水分含量较高时,会引起梭菌等好氧细菌与真菌繁殖,导致青贮饲料腐败变质,养分损失严重<sup>[24]</sup>。随着凋萎时间的延长和收获期的推迟,乳熟后期全株小麦凋萎 8 h 时,可溶性碳水化合物含量下降至 3.45%,而蜡熟中期凋萎 6 h 后的可溶性碳水化合物含量低于 3%,自身的可溶性碳水化合物含量不能够满足乳酸菌发酵的顺利进行,且原料水分含量低于 60%,不利于乳酸菌迅速发酵,导致干物质回收率、干物质体外消化率和饲料相对饲喂价值降低,青贮饲料的品质呈下降趋势。

### 3.2 收获期和凋萎时间对全株小麦青贮饲料发酵品质及微生物菌落的影响

研究表明,乳熟期全株小麦的青贮发酵品质优于蜡熟期,其原因是乳熟期植株可利用的养分高于蜡熟期,可利用乳酸菌发酵<sup>[11]</sup>。收获期推迟和凋萎的延长是为了降低植株过高的含水量,使之达到最适宜青贮的水分含量<sup>[7,25]</sup>,但随着凋萎时间的延长,水分含量降低的同时青贮原料中可消化部分(可溶性碳水化合物等)和附着在青贮原料上的有益微生物也有部分损耗<sup>[26-27]</sup>。收获后的全株小麦长时间暴露在空气中也容易引起霉菌等有害微生物孳生,加上植株含水量的降低使原料难以压实,残留的空气增多,在好氧细菌和霉菌占主导地位时易造成青贮饲料有氧稳定性较差,最终导致青贮饲料发霉腐败。

一般认为适宜的凋萎时间能促进青贮饲料中乳酸菌的生长繁殖,降低 pH 值,这是由于微生物生长繁殖需要维持一定的水分,适宜的含水量能有效提高青贮饲料中的乳酸菌含量<sup>[28]</sup>。含水量过低时,乳酸菌等有益微生物活动受抑制,有机酸含量降低,pH 值也会升高<sup>[24]</sup>。全株小麦乳熟后期凋萎 0~6 h、蜡熟中期凋萎 0~2 h,原料的含水量均控制在 70%~55%,其青贮饲料的 pH 值控制在 4.5 左右,乳酸含量(10.70~18.70 g/kg)较高,氨态氮含量/总氮含量比例在 55.70~68.64 g/kg,霉菌含量(15.50~20.50 CFU/g)、好氧细菌含量[(5.66~15.13)  $\times 10^5$  CFU/g]和酵母菌[(6.69~17.53)  $\times 10^3$  CFU/g]群落数量得到有效控制。但当蜡熟中期收获的全株小麦凋萎 4 h 后,原料含水量大幅下降

50% 时,其青贮饲料的 pH 值接近或大于 5,乳酸含量低于 3 g/kg,氨态氮含量/总氮含量接近或大于 90 g/kg,有机酸含量逐渐降低,好氧细菌和霉菌急剧增加。青贮原料含水量低,一方面使青贮饲料的好氧细菌数量增多,乳酸菌数量减少,另一方面可能是由于不同含水量导致原料细胞分解速率和溶解物质含量不同,影响了微生物代谢速率和代谢途径,导致乳酸、乙酸等含量降低<sup>[29]</sup>。

## 4 结论

全株小麦作为青贮原料,可适当提前收割,为下一茬作物的种植和生长提供充足的时间。乳熟后期收获的全株小麦,凋萎 2~6 h 均能获得优质的青贮饲料,其 pH 值较低,干物质回收率均达 95% 以上,饲料相对饲喂价值达 136.27 以上;由于蜡熟中期收获的全株小麦,原料起始干物质含量较高,要尽快进行青贮,凋萎时间不宜超过 4 h,超过 4 h 后青贮饲料的 pH 值达 5 以上,乳酸含量更低,干物质回收率急剧下降,无法保证制作出优质的青贮饲料。

## 参考文献:

- [1] 冯涛,唐海洋,杨文祥,等. 甜高粱凋萎青贮和混合青贮对发酵品质及营养成分保存效果的影响[J]. 南京农业大学学报, 2019, 42(2): 352–357.
- [2] 刘振阳,孙娟娟,姜义宝,等. 双乙酸钠对苜蓿与小麦混合青贮发酵品质和有氧稳定性的影响[J]. 中国草地学报, 2017, 39(2): 85–89.
- [3] 郭金桂,宋灵峰,玉柱,等. 混合比例对紫花苜蓿与燕麦混贮品质的动态影响[J]. 中国草地学报, 2018, 40(1): 73–79.
- [4] 胡志勇,张甜,王金新,等. 不同成熟阶段及品种对全株小麦营养成分和瘤胃降解特性的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(4): 1333–1343.
- [5] Chen Y, Weinberg Z G. The effect of relocation of whole-crop wheat and corn silages on their quality[J]. Journal of Dairy Science, 2014, 97(1): 406–410.
- [6] Shaani Y, Nikbachat M, Yosef E, et al. Effect of feeding long or short wheat hay v. wheat silage in the ration of lactating cows on intake, milk production and digestibility[J]. Animal, 2017, 11(12): 2203–2210.
- [7] 李伟. 收获期对小麦、黑麦及多年生黑麦草青贮品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2019.
- [8] 马燕欣,郎淑平. 几个适宜青贮的小麦材料营养价值比较[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(2): 294–297, 302.
- [9] 任继周,马志愤,梁天刚,等. 构建草地农业智库系统,助力中国农业结构转型[J]. 草业学报, 2017, 26(3): 191–198.
- [10] 张婷. 小麦全株贮存过程营养评价和育肥猪饲喂效果研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2017.
- [11] 秦梦臻,沈益新. 生育期对小麦全株青贮发酵品质的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(8): 1661–1666.
- [12] 刘召华,滕道明,时云凤. 不同收割时间和收割高度对全株小麦发酵营养价值和奶牛生产性能的影响[J]. 中国饲料, 2019(10): 72–76.
- [13] 李悦铭,陈勇,孟庆翔,等. 不同浓度甲酸丙酸混合添加剂对全株小麦青贮品质的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(8): 77–84.
- [14] Yoshida S. Laboratory manual for physiological studies of rice[M]. Philippines, Los Baños: IRRI, 1976: 43.
- [15] van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J]. Journal of Dairy Science, 1991, 74(10): 3583–3597.
- [16] Goto I, Minson D J. Prediction of the day matter digestibility of tropical grasses using a pepsin-cellulase assay[J]. Animal Feed Science and Technology, 1977, 2(3): 247–253.
- [17] Madrid J, Martínez-Teruel A, Hernández F, et al. A comparative study on the determination of lactic acid in silage juice by colorimetric, high-performance liquid chromatography and enzymatic methods[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79(12): 1722–1726.
- [18] Salawu M B, Acamovic T, Stewart C S, et al. The use of tannins as silage additives: effects on silage composition and mobile bag disappearance of dry matter and protein[J]. Animal Feed Science and Technology, 1999, 82(3/4): 243–259.
- [19] 牟林林,宦海琳,许能祥,等. 凋萎时间对多花黑麦草青贮品质及微生物动态变化的影响[J]. 南方农业学报, 2019, 50(12): 2771–2777.
- [20] 朱丽芳,张丹,庞璐. 干旱胁迫对植物生理方面的影响[J]. 现代园艺, 2017(21): 71–72.
- [21] 许能祥,顾洪如,董岳飞,等. 稻草在自然风干过程中的养分变化及适宜青贮时间研究[J]. 草业科学, 2015, 32(8): 1344–1351.
- [22] Huhnke R L, Muck R E, Payton M E. Round bale silage storage losses of ryegrass and legume-grass forages[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1997, 13(4): 451–457.
- [23] 成启明,格根图,刘丽英,等. 水分、密度、添加剂对典型草原天然牧草裹包青贮品质的影响[J]. 中国草地学报, 2018, 40(3): 95–101.
- [24] 吕建敏,胡伟莲,刘建新. 添加酶制剂和麸皮对稻草青贮发酵品质的影响[J]. 动物营养学报, 2005, 17(2): 58–62.
- [25] 周娟娟,魏巍,秦爱琼,等. 水分和添加剂对辣椒秸秆青贮品质的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(2): 231–239.
- [26] 刘立山,郎侠,周瑞,等. 降雨和风干对玉米秸秆青贮品质的影响[J]. 中国草地学报, 2019, 41(2): 22–29.
- [27] 李平,白史旦,鄯家俊,等. 添加剂及含水量对老芒麦青贮品质的影响[J]. 草地学报, 2013, 21(6): 1176–1181.
- [28] 史悦,丁婉,许庆方,等. 灭菌处理对不同含水量玉米青贮影响的研究[J]. 草地学报, 2018, 26(2): 512–519.
- [29] 覃方铨,赵桂琴,焦婷,等. 含水量及添加剂对燕麦捆裹青贮品质的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(6): 119–125.