

20 份饲草型燕麦品种的抗倒伏性研究

南 铭,赵桂琴,柴继宽

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:以 20 个饲草型燕麦品种为材料,在田间实际倒伏率及倒伏程度分级基础上探讨其茎秆形态特征、主要农艺性状的差异,用倒伏指数评价不同燕麦品种的田间抗倒伏能力。结果表明:供试的 20 个饲草燕麦品种在同一生态环境和栽培管理条件下,田间实际倒伏时期基本稳定在灌浆期至乳熟期,且倒伏程度分级年际间变化不大,不同饲草燕麦品种田间实际倒伏率幅度较大(0~96.7%),差异显著($P < 0.05$)。不同饲草燕麦品种间株高、穗长、穗位高和主茎节数及茎秆基部第 2 节间形态特征均存在差异显著($P < 0.05$),其中,第 2 节长度、茎粗和壁厚、重量、密度和充实度对饲草型燕麦品种抗倒伏能力影响较大。将 20 个饲草型燕麦品种依据倒伏指数和茎秆质量分别划分为抗倒伏型(优质)、中抗倒伏型(中间)、不抗倒伏型(劣质)3 大类。

关键词:燕麦;形态特征;农艺性状;抗倒伏性

中图分类号:S512.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)05-0062-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyecp.2019.05.008

燕麦(*Avena*)是一年生禾本科饲草料作物,具有适应性广、抗逆性强、生产性能突出及营养价值优良等特性^[1]。我国东北、华北地区以种植裸粒型的裸燕麦(*A. nuda*)为主,西北及青藏高原地区种植带稃皮燕麦(*A. sativa*)为冬春家畜补饲,二者均具有广泛的生态适应性,对修复退化天然草地、平衡饲草料供给和维系草地畜牧业可持续发展具有重要作用^[2]。甘肃中部是全国典型的旱地燕麦饲草种植区和主产区,全年饲草燕麦种植面积 1.33 万 hm^2 ,气候条件复杂多变,特别是燕麦进入灌浆期后大风降雨天气相对集中。另外,燕麦生殖生长期植株高大披散,田间群体郁蔽程度较高,茎秆支撑性逐渐减弱,冠层碳同化和叶片对光的截留效率降低^[3-4],易发生倒伏,恶化群体小环境、加

重病虫害、导致贪青晚熟和易早衰等一系列不良反应,对产量造成损失^[4-5]。甚至会引起穗发芽,促进真菌的滋生,致使其饲用品质和贮藏品质变劣^[6]。

倒伏已成为限制燕麦高产稳产和大规模推广应用的重要因素之一,也是当前该地区燕麦饲草生产中普遍存在和亟待解决的关键问题。据报道燕麦倒伏后的籽粒质量和产量急剧下降,种子空瘪程度提高 20%,倒伏发生的时间越早、倒伏角度及面积就越大,造成的减产幅度就越高,给田间机械化收割带来不便,严重影响生产效率^[7]。在小麦^[8-11]、水稻^[12]、大豆^[13]、油菜^[14]和玉米^[15]等作物上依赖于田间实时环境条件对抗倒伏程度进行了分级,依据茎秆形态特征和主要农艺性状等指标对作物抗倒伏性进行了分析和评价,建立和完善了主要作物抗倒伏性评价指标,但针对燕麦田间抗倒伏性分级及利用茎秆倒伏指数评价抗倒伏性的研究鲜有报道。为此,在同一生态环境和种植条件下,在田间实际倒伏程度分级的基础上,以茎秆倒伏指数为标准初步评价了 20 份饲草燕麦品种的抗倒伏性,旨在为燕麦抗倒伏育种亲本选择及高效栽培提供参考依据。

收稿日期:2019-03-15; **修回日期:**2019-04-11

基金项目:国家燕麦荞麦产业技术体系建设专项(CARS-8-C-1)资助

作者简介:南铭(1983-),男,甘肃通渭人,在读博士。

E-mail:cedar_nanming@126.com

赵桂琴为通讯作者。

E-mail:zhaogq@gsau.edu.cn

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验地位于甘肃省定西市农业科学研究院旱作联合研究中心。地理坐标 N 35°32'44", E 104°42'17", 海拔 1 920 m, 年均温度为 8.3 °C, 无霜期平均 104 d, 年

均降水量 400 mm, 主要集中在 7~9 月。年均蒸发量 1 400~1 500 mm, 年均日照时数 2 600 h, 土壤 pH 值 7.9~8.3。

1.2 试验材料

供试材料为 20 份国内外饲草燕麦品种, 均由甘肃省定西市农业科学院提供(表 1)。

表 1 不同燕麦品种名称及来源

Table 1 Source and name of tested oat varieties

材料编号	品种名称	皮/裸	来源	材料编号	品种名称	皮/裸	来源
y1	草苳 1 号	裸	内蒙古	y11	白燕 18 号	裸	吉林
y2	蒙燕 1 号	皮	内蒙古	y12	白燕 19 号	皮	吉林
y3	甜燕 2 号	皮	加拿大	y13	远杂 1 号	裸	河北
y4	KONA	皮	美国	y14	张燕 4 号	皮	河北
y5	Haywire	皮	美国	y15	GL381	裸	河北
y6	坝苳 3 号	裸	河北	y16	陇燕 3 号	皮	甘肃
y7	坝苳 18 号	裸	河北	y17	定燕 2 号	皮	甘肃
y8	坝燕 6 号	皮	河北	y18	魁北克燕麦	皮	加拿大
y9	白燕 2 号	裸	吉林	y19	青引 2 号	皮	青海
y10	白燕 7 号	皮	吉林	y20	甜燕麦	皮	青海

1.3 试验设计

采用随机区组设计, 3 次重复, 分别于 2017 年 4 月 11 日和 2018 年 4 月 9 日播种, 每个品种种植 10 行, 小区面积 4.0 m×2.5 m, 行播量为 16.0 g, 播深度 6~8 cm, 重复间隔 1 m。试验四周设置保护行, 管理略高于大田。

1.4 测定项目及方法

(1) 田间实际倒伏程度是作物抗倒伏性评价的重要依据, 倒伏面积是田间抗倒伏性的直接体现^[16], 对作物抗倒伏植株形态学研究具有关键作用^[17]。依据燕麦在抽穗至成熟阶段遇大风、降水后田间小区植株是否发生倒伏和倒伏恢复后植株倾斜程度, 按照 3—抗(植株倾斜度 < 15°)、5—中抗(植株倾斜度 15°~45°)、7—不抗(植株倾斜度 ≥ 45°)^[18] 分级。

(2) 取样于燕麦进入灌浆期间每个小区随机选取 3~5 株长势一致、未倒伏的植株, 贴近地表切取茎秆, 调查株型、穗型、茎节数, 完熟期统计实际倒伏率。

实际倒伏率 = 小区倒伏面积 / 小区总面积 × 100%

(3) 测定株高、穗长, 直尺量取。基部第 2 节间长, 用游标卡尺(精确度 0.001)量取基部第 2 节茎粗、内径及壁厚。

茎秆基部至平衡支点的距离为茎秆重心高度^[19]。

称取茎秆鲜重(叶、叶鞘、穗), 在 105 °C 条件下杀青 2 h 并在 80 °C 烘至恒重, 称取茎秆干重。茎秆质量类型的划分依据不同燕麦品种灌浆期-乳熟期基部第 2 节机械强度, 采用最短距离法进行判别分析^[20]。

茎秆质量(g/cm) = 茎秆干重/株高。

称取基部第 2 节间去叶(鞘)鲜重, 用烘干后称量干重, 用基部第 2 节间长、内径、壁厚和茎粗, 计算基部第 2 节间体积(中空圆柱体, 不含髓腔)、基部第 2 节间密度和基部第 2 节间充实度^[21]。

基部第 2 节间密度(g/cm³) = 第 2 节间重量 / 第 2 节间体积

基部第 2 节间充实度(g/cm) = 第 2 节干重 / 第 2 节长度

将去掉叶鞘的基部第 2 节间放在间隔 5 cm 的支撑架上, 用 YYD-1 型茎秆强度测定仪(浙江托普仪器有限公司)以平稳的力拉茎秆, 使茎秆瞬间折断的力乘以 100 g/N 即为该茎秆机械强度^[22]。

试验中茎秆倒伏指数略有改进^[23-24], 计算如下:

茎秆倒伏指数 = 单茎鲜重(穗、叶及叶鞘) × 茎秆重心高度 / 茎秆机械强度。

倒伏指数越大, 则抗倒伏性越弱, 反之则抗倒伏性越强^[25-27]。

试验中数据均重复 3 次、以平均值统计。

1.5 数据处理

试验数据通过 Microsoft excel 2010 整理, SPSS 22.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同燕麦品种田间倒伏程度

在完熟期对供试燕麦品种田间实际倒伏情况进行

了统计和评估。不同饲草型燕麦品种年际间倒伏分级基本保持稳定, 大部分品种在灌浆期至乳熟期间发生倒伏, 但实际倒伏率略有差异, 不同燕麦品种实际倒伏率最大为 96.7%, 发生在灌浆期(表 2)。

试验调查中发现, 株型紧凑, 穗型周紧、周散的矮秆品种倒伏程度较低, 株型披散, 穗型侧紧、侧散的高秆品种倒伏程度较高, 同等株高条件下, 皮燕麦抗倒伏能力要大于裸燕麦。

表 2 不同燕麦品种实际倒伏率及倒伏分级

Table 2 Actual lodging rate and field lodging classification of tested oat varieties

材料编号	倒伏时期	实际倒伏率/%	田间倒伏分级	倒伏时期	实际倒伏率/%	田间倒伏分级
	2017	2017	2017	2018	2018	2018
y1	蜡熟期	50.4	7	灌浆期	18.5	5
y2	—	0	3	—	0	3
y3	乳熟期	31.0	5	灌浆期	24.9	5
y4	—	0	3	—	0	3
y5	—	0	3	乳熟期	11.3	5
y6	蜡熟期	64.9	7	灌浆期	26.8	5
y7	乳熟期	16.7	5	灌浆期	13.5	5
y8	—	0	3	—	0	3
y9	—	0	3	—	0	3
y10	—	0	3	—	0	3
y11	—	0	3	—	0	3
y12	—	0	3	—	0	3
y13	乳熟期	20.8	5	灌浆期	15.0	5
y14	—	0	3	—	0	3
y15	—	0	3	灌浆期	4.9	3
y16	蜡熟期	25.6	3	灌浆期	77.8	7
y17	乳熟期	72.2	7	灌浆期	85.1	7
y18	—	0	3	—	0	3
y19	乳熟期	63.4	7	灌浆期	96.7	7
y20	蜡熟期	18.3	5	乳熟期	29.4	5

2.2 不同燕麦品种茎秆基部形态特征

不同燕麦品种茎秆基部第 2 节形态特征差异显著($P < 0.05$)。基部第 2 节长度、茎粗、壁厚、重量、密度及充实度 y2 均最大, y14 次之, 较其他品种平均高出 10.2%。第 2 节充实度间接反映茎秆质量的优劣, 且与第 2 节密度及体积有直接关系。茎秆质量最优的属 y2, 为 51.47 mg/cm, 显著($P < 0.05$)高于其他品种, 这跟 y1 田间群体的生长健壮程度是相吻合的(表 3)。

2.3 不同燕麦品种的抗倒伏性评价

在同一生育时期, 不同品种间主要农艺性状, 倒伏指数和茎秆质量存在显著差异($P < 0.05$), 变异均较大。株高变化为 85.2~121.9 cm, 极差达到 36.7 cm, 穗长变化为 16.8~27.3 cm, 极差达到 10.5 cm, 倒伏指数为 0.71~4.82, 极差达到 4.11, 茎秆质量为 12.90~51.47 g/cm, 极差达到 38.27 g/cm(表 4)。基部第 2 节机械强度大的品种第 2 节长度短、粗度小、内径也小, 而壁厚、密度与节间充实度高、倒伏指数小、表现

表 3 不同燕麦品种茎秆基部节间形态特征

Table 3 Characteristics of internode morphology of stem base of tested oat varieties

材料编号	第 2 节长度 /cm	第 2 节壁厚 /mm	第 2 节粗度 /mm	第 2 节重量 /g	第 2 节密度 /(g·cm ⁻³)	第 2 节间充实度 /(g·cm ⁻¹)
y1	14.80 ^{ab}	0.90 ^{cde}	5.67 ^{bcd}	3.00 ^{bcd}	0.83 ^c	0.03 ^c
y2	6.80 ^d	1.85 ^a	7.62 ^a	4.50 ^a	2.84 ^a	0.18 ^a
y3	11.40 ^{abc}	1.09 ^{bcd}	5.41 ^{bcd}	3.20 ^{bc}	1.50 ^b	0.07 ^{bc}
y4	12.60 ^b	1.06 ^{cd}	4.86 ^{cd}	2.46 ^{def}	1.20 ^{bc}	0.02 ^c
y5	11.80 ^{bc}	0.97 ^{cd}	4.89 ^{cd}	2.65 ^{cde}	0.90 ^c	0.04 ^{bc}
y6	14.50 ^{ab}	1.09 ^{bcd}	6.13 ^{bc}	3.10 ^{bc}	1.34 ^{bc}	0.03 ^{bc}
y7	12.20 ^b	1.11 ^{bcd}	5.07 ^{cd}	3.10 ^{bc}	1.23 ^{bc}	0.04 ^{bc}
y8	10.20 ^{bc}	1.42 ^{ab}	7.01 ^{ab}	3.45 ^{ab}	1.76 ^b	0.06 ^{bc}
y9	12.10 ^{abc}	1.18 ^{bcd}	5.95 ^{bc}	2.55 ^{de}	1.02 ^{bc}	0.05 ^{bc}
y10	11.00 ^{bc}	0.99 ^{cd}	5.81 ^{bc}	2.30 ^{def}	1.04 ^{bc}	0.06 ^{bc}
y11	10.50 ^{bc}	0.90 ^{cde}	5.57 ^{bcd}	2.70 ^{cde}	1.25 ^{bc}	0.08 ^{abc}
y12	8.00 ^{cd}	0.81 ^{de}	4.27 ^{de}	2.60 ^{de}	1.89 ^b	0.06 ^{bc}
y13	11.40 ^{bc}	1.30 ^{bc}	4.50 ^{cde}	2.20 ^{ef}	1.20 ^{bc}	0.04 ^c
y14	8.80 ^{cd}	1.43 ^{ab}	6.64 ^{abc}	3.60 ^{ab}	2.64 ^a	0.12 ^{ab}
y15	11.50 ^{abc}	0.93 ^{cde}	4.61 ^{cd}	2.35 ^{def}	1.25 ^{bc}	0.03 ^c
y16	8.70 ^{cd}	1.38 ^{ab}	5.59 ^{bcd}	2.80 ^{cde}	1.56 ^b	0.04 ^c
y17	15.20 ^a	1.01 ^{cd}	4.48 ^{cde}	3.40 ^{ab}	1.07 ^{bc}	0.03 ^c
y18	12.80 ^b	1.11 ^{bcd}	5.93 ^{bc}	3.65 ^{ab}	1.21 ^{bc}	0.08 ^{abc}
y19	12.40 ^b	1.22 ^{bc}	5.76 ^{bcd}	2.50 ^{de}	1.03 ^{bc}	0.03 ^c
y20	11.00 ^{bc}	1.06 ^{cd}	5.14 ^{cd}	2.50 ^{de}	1.03 ^{bc}	0.03 ^c

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同

表 4 不同燕麦品种主要农艺性状、倒伏指数及茎秆质量

Table 4 Agronomic characters, lodging index and stem quality of tested oat varieties

材料编号	株高/cm	穗长/cm	穗位高 /cm	主茎节数	倒伏指数	茎秆质量/(g·cm ⁻¹)
y1	110.80 ^a	26.9 ^a	87.30 ^{ab}	5	2.80 ^{bc}	20.50 ^{de}
y2	94.90 ^{bc}	17.7 ^{cd}	62.20 ^{gh}	5	0.81 ^d	51.47 ^a
y3	93.70 ^{bc}	20.0 ^{bc}	71.80 ^{def}	5	3.13 ^b	12.81 ^{gh}
y4	85.20 ^{bcd}	18.3 ^{cd}	66.80 ^{fg}	4	1.37 ^c	18.33 ^{de}
y5	96.10 ^{bc}	19.1 ^c	72.30 ^{cde}	5	1.37 ^c	14.71 ^{fg}
y6	97.06 ^{bc}	22.9 ^b	80.70 ^{bc}	5	2.43 ^c	29.49 ^{cd}
y7	79.10 ^d	19.7 ^{bc}	48.30 ^h	5	1.69 ^c	31.33 ^{bc}
y8	99.33 ^b	21.7 ^{bc}	69.40 ^{ef}	4	0.88 ^d	42.64 ^{ab}
y9	86.70 ^{bcd}	17.8 ^{cd}	68.60 ^{ef}	4	1.42 ^c	16.53 ^{efg}
y10	103.50 ^{ab}	16.8 ^d	74.60 ^{cd}	5	1.53 ^c	21.24 ^{de}
y11	93.60 ^{bc}	19.7 ^c	71.80 ^{def}	4	0.8 ^d	19.21 ^{de}
y12	86.30 ^{bcd}	18.4 ^{cd}	59.70 ^h	4	0.79 ^d	22.57 ^{de}
y13	109.70 ^a	23.3 ^b	77.80 ^{bcd}	5	2.14 ^{bc}	17.17 ^{def}
y14	105.30 ^{ab}	25.1 ^{ab}	74.60 ^{cd}	5	0.71 ^d	41.78 ^{ab}
y15	96.10 ^{bc}	20.2 ^{bc}	66.80 ^{fg}	5	1.39 ^c	17.52 ^{def}
y16	97.73 ^{bc}	22.6 ^{bc}	83.70 ^{abc}	5	2.31 ^{bc}	26.76 ^{cde}
y17	121.90 ^{ab}	27.3 ^a	89.90 ^a	5	4.82 ^a	21.64 ^{de}
y18	96.43 ^{bc}	19.3 ^c	62.10 ^{gh}	5	0.67 ^d	31.51 ^{bc}
y19	108.03 ^{bc}	21.6 ^{bc}	74.10 ^{cd}	5	4.64 ^a	12.90 ^{gh}
y20	98.60 ^{bc}	25.1 ^{ab}	64.80 ^j	5	1.62 ^c	13.38 ^{fgh}

为抗倒伏。不同饲草燕麦品种的田间抗倒伏能力与茎秆质量和茎秆倒伏指数分析结果基本保持一致^[25],倒伏指数最大为 y16,田间实际表现为不抗倒伏,倒伏程度比较严重。倒伏指数最小的为 y2,田间表现为抗倒伏,实际倒伏率较小,倒伏程度较轻。供试的 20 份饲草型燕麦倒伏指数变幅为 0.67~5.82,相差 8.7 倍,

表 5 不同燕麦品种的抗倒伏能力评价

Table 5 Evaluation on lodging resistance of tested oat varieties

材料编号	倒伏类型	茎秆质量	材料编号	倒伏类型	茎秆质量
y1	不抗倒伏	中间	y11	抗倒伏	优质
y2	抗倒伏	优质	y12	抗倒伏	优质
y3	中抗倒伏	劣质	y13	中抗倒伏	中间
y4	抗倒伏	中间	y14	抗倒伏	优质
y5	不抗倒伏	劣质	y15	中抗倒伏	中间
y6	中抗倒伏	中间	y16	中抗倒伏	中间
y7	抗倒伏	优质	y17	不抗倒伏	劣质
y8	抗倒伏	优质	y18	抗倒伏	中间
y9	抗倒伏	优质	y19	中抗倒伏	中间
y10	中抗倒伏	中间	y20	不抗倒伏	劣质

3 讨论

倒伏是植株茎秆从自然直立状态到永久错位的位移现象^[16],受生态环境、栽培措施、遗传变异及其他因素等共同作用。除外部条件诱导外,品种遗传特性决定的形态学特性对抗倒伏性影响显著^[3]。而且,茎秆形态特征是基于形态学鉴别和评价作物抗倒伏性的关键^[19,21]。田间观察发现供试饲草燕麦品种倒伏大部分发生在 7 月上旬,正值燕麦灌浆期-乳熟期间,倒伏燕麦品种进入灌浆旺盛期,选择此期间测定供试燕麦品种的倒伏指数和茎秆质量符合抗倒伏性评价实际^[26]。

内蒙古农研所莜麦专业组报道茎秆矮、粗、坚、韧是抗倒性莜麦品种的主要表现,基部节间长度与直径的比值大小是衡量品种抗倒伏性强弱的重要标志之一^[28],植株高度低,负荷轻,株型紧凑的品种抗倒伏性强。而陈有军等^[29]对青藏高原地区田间燕麦抗倒伏的研究报道,株高对燕麦抗倒伏影响起到主要作用,茎粗对燕麦抗倒伏影响次之,燕麦的倒伏主要是茎倒伏,基部节间重、节间长短在作物抗倒伏中起着重要作用^[30],抗倒伏性较强的品种具有基部伸长节间较短、茎秆基部较粗的形态特征^[32],试验分析结果也充分证实了这一点。在同一种植条件下对田间燕麦倒伏情况

极端材料较少。茎秆质量最优的品种在田间表现为抗倒伏,茎秆质量最差的在田间表现为不抗倒伏,但茎秆质量优劣不一定直接代表抗倒伏能力的大小,还与倒伏指数和茎秆支撑性有关,在一定程度上间接反应品种的抗倒伏性。将供试燕麦品种划分为:优质型,中间型和劣质型(表 5)。

调查发现,植株矮小早熟品种抗倒伏能力强于植株高大晚熟品种,裸燕麦比皮燕麦易倒伏,是因为裸燕麦叶面积系数较大,营养生长旺盛易造成田间郁蔽,从而影响了茎秆的生长发育。另外,株型紧凑,穗型周紧或周散的品种相比株型披散,穗型侧紧或侧散的品种抗倒伏,与不抗倒品种相比,抗倒品种茎秆质量较优,倒伏指数小,这与王丹等^[11]、胡昊等^[17]报道抗倒小麦品种重心高度较低,茎秆节间更短,基部更粗、茎壁更厚的结果类似。

试验观测期和采样期均处在燕麦灌浆期至乳熟期阶段,正是燕麦生育期中干物质转运盛期,燕麦茎秆具有支持地上部的功能,且具有贮藏和运输养分的作用,由节和节间组成。灌浆期至乳熟期间茎秆内贮存的大分子物质开始向籽粒转运,茎秆基部节间结构物质逐步分解,细胞壁变薄,茎秆机械强度减弱是引起倒伏发生的关键^[31]。Pinthus^[33]报道燕麦茎秆支撑的主要受力部位在基部茎节间处,所以基部节间是燕麦茎秆倒伏的关键部位。同时,茎秆基部可以作为评价作物生长健壮程度、反映品种抗倒伏性强弱和生产潜力大小的重要指标^[34]。与抗倒伏性关系最密切的是基部二节间。在外界气候,土壤环境和种植条件一致的情况下,供试燕麦品种在茎秆形态特征上差异显著($P < 0.05$),这与田间实际调查结果是吻合,说明燕麦

品种的形态学特性在一定程度上决定着其抗倒伏能力。

4 结论

在同一生态环境条件下,将 20 个饲草型燕麦品种可划分为抗倒伏、中抗倒伏、不抗倒伏 3 大类,各自对应茎秆质量类型为优质、中间和劣质。茎秆质量的优劣间接影响茎秆基部机械强度和增强抗倒伏性的生物学功能,可以衡量茎秆内含结构物质的多少及其转移率的高低,在一定程度上影响茎秆支撑能力的强弱,是评价燕麦品种的抗倒伏能力的重要指标。茎秆基部形态特征与倒伏指数及其构成因素关系比较密切,尤其是第 2 节长度、茎粗、重量、密度和充实度是影响燕麦茎秆倒伏的关键形态特征。

参考文献:

- [1] 柴继宽,赵桂琴,胡凯军,等.不同种植区生态环境对燕麦营养价值及干草产量的影响[J].草地学报,2010,18(3):415-423.
- [2] 南铭,赵桂琴,柴继宽.黄土高原半干旱区饲用燕麦种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J].草地学报,2017,25(6):1197-1205.
- [3] Setter T L, Laurels E V, Mazaredo A M. Lodging reduces the yield of rice by self-shading and reductions in canopy photosynthesis[J]. Field Crops Research, 1997, 49: 95-106.
- [4] Pirjo Peltonen-Sainio. Morphological and physiological characters behind high-yielding ability of oats (*Avena sativa*), and their implications for breeding[J]. Field Crops Research, 1990, 25(11): 247-252.
- [5] Marshall H G, Kolb F L, Roth G W. Effects of nitrogen-fertilizer rate, seeding rate, and row spacing on semi-dwarf and conventional height spring oat[J]. Crop Science, 1986, 27: 572-575.
- [6] Kono M. Physiological aspects of lodging[J]. Science of the Rice, 1995, 2: 971-982.
- [7] Guillin E, Baum B R, Mechanda S. Development of an identification scheme for Canadian registered oat cultivars using RAPDs[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1998, 78-84.
- [8] 王勇,李晴祺.小麦品种抗倒性评价方法的研究[J].华北农学报,1995,10(3):84-88.
- [9] Tripathi S C, Sayre K D, Kaul J N, et al. Growth and morphology of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) culms

and their association with lodging: effects of genotypes, N levels and ethephon[J]. Field Crops Research, 2003, 84: 271-290.

- [10] Crook M J, Ennos A R. The effect of nitrogen and growth regulators on stems and root characteristics associated with lodging in two cultivars of winter wheat[J]. Journal Experimental Botany, 1995, 46: 931-938.
- [11] 王丹,丁位华,冯素伟,等.不同小麦品种茎秆特性及其与抗倒性的关系[J].应用生态学报,2016,27(5):1496-1502.
- [12] 刘畅,李来庚.水稻抗倒伏性状的分子机理研究进展[J].中国水稻科学,2016,30(2):216-222.
- [13] 黄中文,赵团结,喻德跃,等.大豆抗倒伏的评价指标及其 QTL 分析[J].作物学报,2008,34(4):605-611.
- [14] 师恭耀.甘蓝型油菜茎秆抗倒伏性构成因素的鉴定与评价[D].郑州:郑州大学,2010:10-14.
- [15] 马延华,王庆祥.玉米茎秆性状与抗倒伏关系研究进展[J].作物杂志,2012(2):10-15.
- [16] 刘欢,慕平,赵桂琴,等.不同剂量除草剂对皮、裸燕麦光合特性及产量形成的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(6):124-133.
- [17] 田保明,杨光圣.农作物倒伏及其评价方法[J].中国农学通报,2005,21(7):111-114.
- [18] 郑殿升,王晓鸣,张京.燕麦种质资源描述规范和数据库标准[M].北京:中国农业出版社,2006:55-57.
- [19] 刘唐兴,官春云,雷冬阳.作物抗倒伏的评价方法研究进展[J].中国农学通报,2007,23(5):203-205.
- [20] 胡昊,李莎莎,华慧,等.不同小麦品种主茎茎秆形态结构特征及其与倒伏的关系[J].麦类作物学报,2017,37(10):1343-1348
- [21] 徐磊,王大伟,时荣盛,等.小麦基部节间茎秆密度与抗倒性关系的研究[J].麦类作物学报,2009,29(4):673-679.
- [22] 卢昆丽,尹燕桦,王振林,等.施氮期对小麦茎秆木质素合成的影响及其抗倒伏生理机制[J].作物学报,2014,40(9):1686-1694.
- [23] 陈晓光,史春余,尹燕萍,等.小麦茎秆木质素代谢及其与抗倒性的关系[J].作物学报,2011,37(9):1616-1622.
- [24] 李金才,尹钧,魏凤珍.播种密度对冬小麦茎秆形态特征和抗倒指数的影响[J].作物学报,2005,31(5):662-666.
- [25] 胡卫国,张玉娥,曹颖妮,等.改良倒伏指数法鉴定小麦品种抗倒性初步研究[J].麦类作物学报,2018,38(8):

- 906—913.
- [26] 王勇,李晴祺,李朝恒,等. 小麦品种茎秆的质量及解剖学研究[J]. 作物学报,1998,7(4):452—458.
- [27] 马均,马文波,田彦华,等. 重穗型水稻植株抗倒伏能力的研究[J]. 作物学报,2004,30(2):143—148.
- [28] 内蒙古农研所粮作室莜麦专业. 莜麦抗倒伏品种形态特征的初步研究[J]. 内蒙古农业科技,1978(2):19—21.
- [29] 陈有军,周青平,孙建,等. 不同燕麦品种田间倒伏性状研究[J]. 作物杂志,2016(5):44—49.
- [30] Zhou Q P,Kumar B D,Ma B L. Comparisons among cultivars of wheat,hulless and hulled oats;drpmatter,N and P accumulation and partitioning as affected by N supply [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2013, 176(6):929—941.
- [31] Murphy H C,Petr F,Frey K J. Lodging resistance studies in oat[J]. Agriculture Journal,1958,50:609—611.
- [32] Tian W T,Shao P,Wang Y. Stemmorphological structure of super hybrid rice and its relationship with lodging resistance[J]. Agricultural science technology,2017, 18(7):1152—1157.
- [33] Pinthus, Lodging in Wheat, Barley, and Oats; The Phenomenon, its Causes, and Preventive Measures[J]. Advances in Agronomy,1974,25:209—263.
- [34] 龚建军. 播种量和氮肥水平对燕麦倒伏和产量的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2007:11—15.
- [35] 杨海鹏,孙泽民,等. 中国燕麦[M]. 北京:农业出版社, 1989:8—15.

Study on lodging resistance of 20 forage oat (*Avena sativa*) varieties

NAN Ming,ZHAO Gui-qin,CHAI Ji-kuan

(College of Grassland Science,Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability,Lanzhou 730070,China)

Abstract: Totally 20 forage oat varieties were used to investigate morphological characteristics and main agronomic characters of the stems based on the actual lodging rate and the classification of lodging degree in field, and lodging index was used to evaluate the lodging resistance from 2017 to 2018 in Dingxi in order to provide reference for the breeding and cultivation. The results showed that under the same ecological environment and cultivation and management conditions, the actual lodging period was basically stable from grouting period to milk ripening period, and the annual change of lodging degree was not significant. The actual lodging rate of oat varieties showed a wide range (0~96.7%), and the difference was significant ($P < 0.05$). There were significant differences in plant height, spike length, spike height, number of main stem segments, and morphological characteristics of the second internode among varieties ($P < 0.05$), in which, the length of the second segment, stem thickness and wall thickness, weight, density and fullness had a great influence on lodging resistance. The tested varieties could be divided into 3 groups according to lodging index and stem quality, i. e., lodging resistant type (high quality), moderate lodging resistant type (middle), and non-lodging resistant type (low quality).

Key words: oat; morphological feature; agronomic characters; lodging resistance