

УДК 664

Использование дрожжей р. *Brettanomyces* в технологии пива

Канд. техн. наук М. М. ДАНИНА

marina_dako@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Канд. биол. наук О. Б. ИВАНЧЕНКО

obivanchenko@yandex.ru

Санкт-Петербургский государственный торгово-экономический университет

194021, Санкт-Петербург, Новороссийская ул., 50

Рассмотрен процесс получения пива с повышенной степенью сбраживаемости сусле и новыми вкусо-ароматическими характеристиками при использовании дрожжей р. *Brettanomyces* в качестве дополнительно вносимой культуры при дображивании пива в бутылках. Засыпь готовили в соотношении: светлый солод Pilsen — 65%; венский солод (Vienna Malt) — 20%; карамельный солод (Crystal malt) — 5%. Инвертированный сахарный сироп вносили на стадии кипячения в количестве 10%. Затирали проводили настольным способом при гидромодуле затора — 1:4. Брожение вели при температуре 25±1 град. С. Рассматривается влияние различных штаммов верхнего брожения Belgian Ale Yeast- Mangrove Jacks и Belle Saison на ход брожения и показатели качества готового пива. Наиболее высокую степень сбраживаемости в ходе главного брожения, показали штаммы Mangrove Jacks M-27 и M-79, которая составляет 97,2 и 97,8%, соответственно. Созревание пива с дрожжи *Brettanomyces bruxellensis* проводилось 60 сут при температуре 20 град. С. В образцах, в которые на стадии созревания пива были добавлены дрожжи *Brettanomyces bruxellensis*, заметно повышена степень сбраживаемости и она составляет 99,7%. Так же в этих образцах наблюдается повышенная цветность (8 SRM) и активная кислотность (рН 4,0–3,8). Органолептическая оценка проводилась по 25-балльной шкале. Максимальное количество баллов пучило пиво, главное брожение которого вели дрожжи Mangrove Jacks M-27–23 балла: вкус — 5, горечь — 5, аромат — 5, прозрачность — 4 и цвет — 4 балла. Наименее сбалансированным по вкусу и аромату было пиво с использованием дрожжей Mangrove Jacks M-79: вкус — 2, горечь — 4, аромат — 2, прозрачность — 4 и цвет — 4 балла

Ключевые слова: пиво, дрожжи, *Brettanomyces bruxellensis*, сенсорные характеристики.

Brettanomyces yeast use in brewing

Ph. D. M. M. DANINA

marina_dako@mail.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Ph. D. O. B. IVANCHENKO

obivanchenko@yandex.ru

St. Petersburg State University of Trade and Economics

194021, Russia, St. Petersburg, Novorossiyskaya str., 50

The article deals with brewing beer with a higher degree of wort fermentation using *Brettanomyces* yeast added during second bottle fermentation. Its organoleptic properties are analyzed. Malt bill composition is 65% of Pilsen light malt, 20% of Vienna malt and 5% of caramel malt. 10% of inverted sugar syrup is added at boiling stage. Infusion mashing is made with mash ratio of 1:4. Fermentation is carried out at 25 ±1 deg C. The effects of top-fermentation Belgian Ale Yeast — Mangrove Jacks and Belle Saison strains on fermentation process and the quality of finished beer are analyzed. M-27 and M-79 Mangrove Jacks strains are shown to have the highest degree of fermentation during main fermentation, being 97.2 and 97.8%, respectively. Fermentation of beer with *Brettanomyces bruxellensis* yeast is carried out for 60 days at 20 deg C. In samples with *Brettanomyces bruxellensis* yeast being added at the maturation stage the degree of fermentation is improved highly (99.7%). Increased color degree (8 SRM) and active acidity (pH 4.0–3.8) are also exhibited in the samples. Organoleptic properties evaluation is carried out using 25-grade scale. The beer with M-27 Mangrove Jacks yeast used for main fermentation gets the maximum number of points (23): 5 points for taste, 5 for bitterness, 5 for flavor, 4 for opacity and 4 for color. The least balanced in taste and flavor is the beer made using M-79 Mangrove Jacks yeast: 2 points for taste, 4 for bitterness, 2 for flavor, 4 for opacity and 4 for color.

Keywords: beer, yeast, *Brettanomyces bruxellensis*, sensory characteristics

В пивоварении, для разнообразия вкусов и ароматов, широко используют различное соложенное, несоложенное и экструдированное зерно [1, 2], плодово-ягодное сырье [3], фрукты, пряности, настои и экстракты [4], сиропы, древесную щепу, селекционируют новые сорта хмеля, но т. к. пиво является продуктом спиртового брожения конечный вкус и аромат в большей степени зависят от применяемых дрожжевых культур. Существует большое число уникальных пивных стилей и сортов, например, *Belgian ale*, *Flanders red ale*, *Oud bruin*, *Sour/wild ale*, *Lambic*, *Gueuze*, *Saison*, и т. д., которые обладают ярко выраженными вкусовыми и ароматическими особенностями, во многом благодаря использованию специальных диких дрожжей рода *Brettanomyces* [5–7].

Наиболее распространенное пиво с дикими культурами микроорганизмов — Ламбик, производимое в Брюсселе, где используют спонтанное брожение, в котором доминируют дикие дрожжи, в частности, *Brettanomyces bruxellensis* [8]. Дикие дрожжи и бактерии присутствуют в деревянных бочках или на древесной щепе попадают в сусло при созревании пива с их поверхности. Открытые бродительные аппараты позволяют микроорганизмам из окружающей среды попадать в сусло, а определенная комбинация этих микроорганизмов и их последовательность деятельности в брожении, создают уникальный и сложный вкусовой профиль. Большая часть сахаров в сусле сбраживается культурой дрожжей р. *Saccharomyces*. После флокуляции культурных дрожжей начинают активно развиваться молочнокислые бактерии *Pediococcus* и *Lactobacillus*, которые попадают из воздуха. Последние микроорганизмы, участвующие в брожении Ламбика — это дрожжи *Brettanomyces* / *Dekkera bruxellensis* и *Brettanomyces* / *Dekkera lambicus* [9].

Некоторые пивоварни используют технологию дображивания/созревания пива в бутылке.

Не спорообразующий род дрожжей *Brettanomyces* принадлежит семейству *Saccharomycetaceae* [10,11]. Размножение очень медленное (начало роста в сусле приблизительно на 5-е сутки). Отличительной особенностью этих дрожжей является способность сбраживать высокомолекулярные декстрины, в результате чего, они характеризуются высокой спиртообразующей способностью. Дрожжи этого рода являются сильными кислотообразователями и относятся к термофилам (оптимальная температура роста 31–32°C). При температуре ниже 12°C рост прекращается. Используются в винодельческой и пивоваренной промышленности из-за эфирных компонентов которые они образуют: 4-этилфенол, 4-этилгваяколь, изовалериановую кислоту [12,13].

Таким образом, как показывают данные литературы, дрожжи р. *Brettanomyces* могут использоваться для производства пива, как основная культура или как дополнительная на стадии созревания.

Целью данной работы явилось получение пива с повышенной степенью сбраживаемости суслы и новыми вкусо-ароматическими характеристиками при использовании дрожжей р. *Brettanomyces* в качестве дополнительно вносимой культуры при дображивании пива.

В работе использовали ячменные солода: светлый солод сорта *Pilsen*, венский солод (*Vienna Malt*), карамельный солод (*Crystal malt*). Засыпь готовили в соотношении: светлый солод — 65%; венский солод — 20%; карамельный солод — 5%. Инвертированный сахарный сироп, в количестве 10% вносили на стадии кипячения. Затирание проводилось настойным способом при гидромодуле затора — 1:4. В предварительно нагретую до 52 °C воду засыпали измельченный солод и начинали процесс затирания. Со скоростью 1 °C/мин поднимали температуру до 63 °C и выдерживали мальтозную паузу в течение 60 мин. При выдерживании мальтозной паузы активируется β-амилаза, приводящая к образованию преимущественно мальтозы, незначительного количества декстринов и малого количества мальтотриозы. Увеличение длительности данной паузы повышает конечную степень сбраживаемости. Далее затор нагревали до 72 °C и выдерживали до полного осахаривания 20 мин. Полное осахаривание проверяли по йодной пробе, нагревали до 78 °C, выдерживали 5 мин для инактивации ферментов и начинали фильтрацию. Отфильтрованное сусло кипятилось 70 мин. В процессе кипячения добавлялся хмель «*Stryrian Savinjski Golding*» через 10 мин кипячения, хмель «*Styrian Celeia Golding*» через 60 мин с начала кипячения и после завершения кипячения. После кипячения сусло охлаждалось, отфильтровывалось и передавалось на брожение

В работе для сбраживания суслы использовали штаммы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* верхового брожения производства Н. Зеландия:

— *Mangrove Jack's M-27*. Дрожжи верхового брожения, специально выведенные для бельгийского пива с высоким содержанием эфиров и фенолов. Имеют высокую степень сбраживаемости и спиртовыносливость (более 14% спирт.об).

— *Belle Saison*. Дрожжи верхового брожения специально выведенные для бельгийского пива стиля сезон (*Saison*) с пряной, фруктовой и перечной ароматикой. Имеют высокую степень сбраживаемости и спиртовыносливость (>14% спирт.об).

— *Mangrove Jack's M-79*. Дрожжи верхового брожения специально выведенные для английского бертона эля и барливайна. Придают пиву легкий грушево-яблочный вкус и аромат, при этом подчеркивая солодовость. Умеренная кислотность балансирует с мягкой фактурой вкуса пива.

Брожение велось при температуре 25 ± 1 °C, такая высокая температура брожения значительно увеличивает образование высших спиртов и эфиров.

Полученное зеленое пиво охлаждали до 5 °C и выдерживали при этой температуре 48ч для осаждения дрожжей и взвесей.

Анализ зеленого пива

Все три исследуемых образца сбродили сусло с начальной экстрактивностью 15% за 72–78 ч. После завершения главного брожения образцы были проанализированы по основным показателям (табл. 1)

Сравнивая полученные результаты, необходимо заметить, что наиболее высокую степень сбраживаемости

мости показали штаммы *Mangrove Jack's M-27* и *M-79*. В образцах, полученных при их участии и наиболее высокое содержание спирта. В показателях pH и цветности отличий не наблюдается.

Физико-химические показатели готового пива

Во все образцы молодого пива добавляли декстрозу в расчете 9 г/л для активации дрожжей и насыщения CO₂ при созревании пива в бутылке. В половину образцов добавили культуру *Brettanomyces bruxellensis*. Пиво выдерживалось 60 сут при температуре 20 °С. Данная температура дображивания обусловлена оптимальной температурой действия *Brettanomyces bruxellensis*.

После срока выдержки пива контрольные и экспериментальные образцы были проанализированы по основным показателям, которые представлены в табл. 2.

В образцах, в которые были добавлены дрожжи *Brettanomyces bruxellensis*, заметно повышена степень сбраживаемости и активная кислотность. Так же в этих образцах наблюдается повышенная цветность.

Органолептические показатели готового пива

Органолептическая оценка очень важна при разработке новых вкусов напитков, так как она позволяет выявить все недостатки и достоинства нового продукта, а иногда это единственный способ сделать заключение о качестве продукта. Была проведена дегустационная оценка качества пива по 25 бальной системе, по сле-

Таблица 1

Физико-химические показатели молодого пива

Исследуемый показатель	Штамм дрожжей		
	M-27	Belle	M-79
Спирт масс. %	6,14	5,92	6,31
Спирт об. %	7,92	7,62	7,97
Экстрактивность	2,97	4,11	3,01
Видимый экстракт, %	0,24	1,78	0,34
Видимая сбраживаемость, %	97,2	89,5	97,8
Действительная сбраживаемость, %	78,1	71,3	79,7
pH	4,4	4,4	4,3
Цветность, SRM	6	6	6

дующим основным показателем (в баллах): прозрачность — 3, цвет — 3, вкус — 5, хмелевая горечь — 5, аромат — 4, пенообразование — 5 [14]. Несомненно, важным процессом при выдержке пива является его созревание. Грубые, неприятные, негармоничные вкусы молодого пива превращаются в приятные, тонкие, законченные ароматы. Созревание пива является сложным процессом, который, связан как с окислительно-восстановительными превращениями веществ пива, так и с жизнедеятельностью имеющихся в пиве микроорганизмов р. *Saccharomyces*, р. *Brettanomyces*, р. *Lactobacillus* и встречающихся уксуснокислых бактерий, которые участвуют в брожении и создании окончательного вкуса.

Суммарный балл исследуемых образцов пива представлен в табл. 3.

Таблица 2

Физико-химические показатели пива

Показатель	Используемый штамм дрожжей					
	M-27	M-27B*	Belle	Belle B*	M-79	M-79B*
Спирт масс. %	6,64	6,96	6,08	6,10	6,43	6,54
Спирт об. %	8,40	8,80	7,73	7,75	8,13	8,26
Экстрактивность	2,88	2,87	4,02	4,01	2,88	2,71
Видимый экстракт, %	0,17	0,04	1,65	1,53	0,25	0,04
Видимая степень сбраживания, %	98,9	99,7	90,1	90,2	98,3	99,7
Действительная степень сбраживания, %	81,4	82,1	74,2	74,3	81,0	82,1
pH	4,4	4,0	4,3	4,0	4,1	3,8
Цветность, SRM	6	8	7	8	6	8

* Образцы с добавлением *Brettanomyces bruxellensis*.

Таблица 3

Органолептическая оценка готового пива

Используемый штамм	Характеристика показателя, балл					
	прозрачность	цвет	аромат	вкус	горечь	Итоговый балл
M-27	4	4	5	5	5	23
M-27B*	3	3	4	4	5	19
Belle Saison	3	3	3	3	5	17
Belle Saison B*	2	3	3	4	5	17
M-79	4	4	2	2	4	16
M-79B*	3	4	3	2	4	17

*Образцы с добавлением *Brettanomyces bruxellensis*.

В общем сравнении можно выделить образцы пива, полученные при использовании дрожжей М-27 и образец М-27В, в которых сформировался наиболее гармоничный аромат и вкус.

Образцы, полученные с дрожжами *Belle u Belle B*, уступают по органолептическим характеристикам, вкус и аромат их менее сбалансирован.

Образцы с дрожжами М-79 и вариант М-79В наименее удачны. В образцах присутствуют нежелательные вкусы и ароматы, вероятно, вследствие того, что данные дрожжи не подходят для выбранного типа пива и, следовательно, они не могут быть использованы на стадии главного брожения при получении пива сорта Ламбик. Вместе с тем, надо отметить, что все образцы с использованием дрожжей *Brettanomyces bruxellensis* имеют ярко выраженные вкусоароматические особенности, не до конца сформированные, вероятно, из-за недостаточного времени выдержки.

На основании проведенных исследований можно заключить, что использование дрожжей *Belle Saison* и *Mangrove Jack's M-79* в технологии получения элей на стадии главного брожения нецелесообразно, если в дальнейшем, на стадии созревания используются дрожжи *Brettanomyces bruxellensis*. При созревании пива в бутылках с добавлением культуры *Brettanomyces bruxellensis* оно приобретает выраженные вкусоароматические особенности. Наиболее гармоничные напитки получены при использовании дрожжей М-27 и М-27В, в которых сформировался сбалансированный аромат и вкус.

Список литературы

1. Меледина Т. В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении. — СПб.: Профессия, 2003. 304 с.
2. Данина М. М., Иванченко О. Б. Использование экструдированной пшеницы в пивоварении // Вестник Международной академии холода. 2015. № 2. С. 18–22.
3. Данина М. М., Иванченко О. Б. Применение плодов шиповника в технологии пивных напитков // Пиво и напитки. 2015. № 2. С. 12–15.
4. Палагина М. В., Зимба А. Г., Макарова А. А. Разработка технологии новых сортов пива специального с добавлением растительных экстрактов // Пиво и напитки. 2010. № 4. С. 30–32.
5. Nobuyuki Hayashi, Ritsuko Arai, Setsuzo Tada, Hiroshi Taguchi, Yutaka Ogawa. Detection and identification of *Brettanomyces/Dekkera sp.* yeasts with a loop-mediated isothermal amplification method. // Food Microbiology. 2007. Vol. 24, No. 7–8. P. 778–785.
6. Daenen L, Sterckx F, Delvaux FR, Verachtert H, Derdelinckx G. Evaluation of glycoside hydrolase activity of a *Brettanomyces strain* of glycosides from sour cherry (*Prunus cerasus L.*) used in the production of special fruit beers // FEMS Yeast Res. 2008. No 8 (7). P. 1103–1114.
7. Schifferdecker A. J., Dashko S., Ishchuk O. P., Piskur J. The wine and beer yeast *Dekkera bruxellensis*. // Yeast. 2014, No 31 (9). P. 323–332.
8. Spitaels F., Wieme A. D., Janssens M., Aerts M., Van Landschoot A., De Vuyst L., Vandamme P. The microbial diversity of an industrially produced lambic beer shares members of a traditionally produced one and reveals a core microbiota for

- lambic beer fermentation. // Food Microbiology. 2015. Vol. 49. P. 23–32.
9. Basilo A. C., de Araujo P. R., de Moraes J. O., de Silva Filho E. A., de Moraes M. A. Jr., Simoes D. A. Detection and identification of wild yeast contaminants of the industrial fuel ethanol fermentation process. // Curr. Microbiol. 2008. Vol. 56 (4). P. 322–326.
10. Smith M. Th., Chapter 25.2: *Dekkera bruxellensis* van der Walt (1964), in: Cletus Kurtzman, J. W. Fell, Teun Boekhout (Hrsg.): «The Yeasts A Taxonomic Study, Volumen 1»; Elsevier, B. V. 2010. 375 p.
11. Enli, C. V., T. Henick-kling. Identification *Dekkera/Brettanomyces* species based on polymorphism in the rRNA internal transcribed spacer region. // Fm. J. Enol.Vitic. 2001. No 52. P. 241–247.
12. Загоруйко В. А. *др.* Обнаружение и идентификация штаммов дрожжей *Brettanomyces* // Виноградарство и виноделие. 2007. № 3. С. 20–23.
13. Chatonnet P., Dubourdieu D., Boidron J. N., Pons M. The origin of ethylphenol in wines. // J. Sci. Food Agric. 1992. Vol. 60. P. 165–178.
14. Ермолаева Г. А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия. — СПб.: Профессия, 2004. 536 с.

References

1. Meledina T. V. Raw materials and auxiliary materials in brewing. — SPb.: Professiya, 2003. 304 p. (in Russian)
2. Danina M. M., Ivanchenko O. B. The use of extruded wheat in the brewing. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2015. No 2. p. 18–22. (in Russian)
3. Danina M. M., Ivanchenko O. B. Application of hips in technology of beer drinks. *Pivo i napitki*. 2015. No 2. p. 12–15. (in Russian)
4. Palagina M. V., Zimba A. G., Makarova A. A. Development of technology of new grades of beer special with addition of plant extracts. *Pivo i napitki*. 2010. № 4. S. 30–32. (in Russian)
5. Nobuyuki Hayashi, Ritsuko Arai, Setsuzo Tada, Hiroshi Taguchi, Yutaka Ogawa. Detection and identification of *Brettanomyces/Dekkera sp.* yeasts with a loop-mediated isothermal amplification method. *Food Microbiology*. 2007. Vol. 24, No. 7–8. P. 778–785.
6. Daenen L, Sterckx F, Delvaux FR, Verachtert H, Derdelinckx G. Evaluation of glycoside hydrolase activity of a *Brettanomyces strain* of glycosides from sour cherry (*Prunus cerasus L.*) used in the production of special fruit beers. *FEMS Yeast Res*. 2008. No 8 (7). P. 1103–1114.
7. Schifferdecker A. J., Dashko S., Ishchuk O. P., Piskur J. The wine and beer yeast *Dekkera bruxellensis*. *Yeast*. 2014, No 31 (9). P. 323–332.
8. Spitaels F., Wieme A. D., Janssens M., Aerts M., Van Landschoot A., De Vuyst L., Vandamme P. The microbial diversity of an industrially produced lambic beer shares members of a traditionally produced one and reveals a core microbiota for lambic beer fermentation. *Food Microbiology*. 2015. Vol. 49. P. 23–32.
9. Basilo A. C., de Araujo P. R., de Moraes J. O., de Silva Filho E. A., de Moraes M. A. Jr., Simoes D. A. Detection and identification of wild yeast contaminants of the industrial fuel ethanol fermentation process. *Curr. Microbiol*. 2008. Vol. 56 (4). P. 322–326.
10. Smith M. Th., Chapter 25.2: *Dekkera bruxellensis* van der Walt (1964), in: Cletus Kurtzman, J. W. Fell, Teun Boekhout (Hrsg.):

- «The Yeasts A Taxonomic Study, Volumen 1»; Elsevier, B. V. 2010. 375 p.
11. Enli, C. V., T. Henick-kling. Identification *Dekkera/Brettanomyces* species based on polymorphism in the rRNA internal transcribed spacer region. *Fm. J. Enol.Vitic.* 2001. No 52. P. 241–247.
 12. Zagoruiko B. A. ets. Detection and identification of strains of *Brettanomyces* yeast. *Vinogradarstvo i vinodelie.* 2007. No 3. p. 20–23. (in Russian)
 13. Chatonnet, P., Dubourdiou D., Boidron J. N., Pons M. The origin of ethylphenol in wines. *J. Sci. Food Agric.* 1992. Vol. 60. P. 165–178.
 14. Ermolaeva G. A. Reference book of the employee of laboratory of the brewing enterprise. — SPb.: Professiya, 2004. 536 p. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 13.09.2015



(16.07.1940–23.11.2015)

Веселин Тасев Ковачев

23 ноября 2015 г. скончался выдающийся болгарский и международный ученый, академик Международной академии холода, доктор физ. наук, профессор ВЕСЕЛИН ТАСЕВ КОВАЧЕВ.

Веселин Ковачев родился 16 июля 1940 г. Высшее образование получил в Ленинградском технологическом институте холодильной промышленности. Впоследствии был аспирантом Нобелевского лауреата Петра Капицы и защитил кандидатскую диссертацию в Институте физических проблем (г. Москва). Тематика его научных интересов относится к области сверхпроводимости, сверхпроводниковым материалам, низкотемпературным свойствам твердых тел и криогенике. Исследования по диссипации энергии в сверхпроводниках, сделанные совместно с выдающимися специалистами Брукхейвенской национальной лаборатории (США), были оформлены в монографии, которая вышла в свет в 1991 г. в издательстве Oxford Science Publications, Clarendon Press. В 1990–1996 гг. проф. Ковачев работал в Техасской лаборатории сверхпроводящего сверхускорителя (SSCL, США). В 1997–2000 г. он был приглашенным профессором в Национальной лаборатории по физике высоких энергий (КЕК) и Национальном институте термоядерного синтеза (NIFS), Япония.

Проф. Ковачев был автором и соавтором пяти книг, более 150 научных публикаций и 9 авторских свидетельств. Он был членом редколлегии международных журналов «Condensed Matter and Materials Communications», Nova Science Publisher (САЩ) и IEEE Transactions on Magnetics.

Научная карьера проф. Ковачева неразрывно связана с Институтом физики твердого тела (ИФТТ) Болгарской академии наук (БАН). Здесь он хабилитировался в 1977 г., а затем в 1985 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Диссипативные процессы в сверхпроводящих материалах». По его инициативе была создана лаборатория «Сверхпроводимость и сверхпроводящие материалы», которой он руководил с 1988 г. по 2003 г. Лаборатория осуществляла работу болгарской части Международной программы по прикладной сверхпроводимости стран СЭВ, а сегодня участвует в международной программе Euratom Европейского союза.

В течение многих лет проф. Ковачев был членом Ученого совета ИФТТ, Специализированного ученого совета по Физике конденсированных сред Высшей аттестационной комиссии и Ученого совета Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур во Вроцлаве, Польша.

В знак признания его работ и значительных научных достижений, проф. Ковачев был избран почетным членом Индийского криогенного общества, членом Международного института холода (Комиссия А1), Париж и академиком Международной академии холода, Санкт-Петербург.

Управляющий совет БАН удостоил проф. В. Ковачева почетным знаком «За заслуги перед Болгарской академией наук» и почетного знака БАН имени Марина Дринова на ленте.

Нам посчастливилось работать с профессором Ковачевым долгие годы. Навсегда в нашей памяти останутся его глубокая образованность, широта интересов, международный опыт и дружеское отношение ко всем нам.

От Института физики твердого тела Болгарской академии наук.

Президиум Международной академии холода и редакция журнала «Вестник МАХ»
выражают соболезнование коллегам, родным и близким Веселина Ковачева

